

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| |
|--|
| Тема работы |
| «Разработка лабораторного стенда для управления электроприводами системы вентиляции» |
| УДК <u>62-83-5:621.63</u> |

Студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 5AM06 | Струков Ростислав Игоревич | | |

Руководитель ВКР:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор | Букреев Виктор Григорьевич | д.т.н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Былкова Татьяна Васильевна | к.э.н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Черемискина Мария Сергеевна | – | | |

По разделу на иностранном языке:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Федоринова Зоя Владимировна | к.п.н. | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|--------------------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор | Гарганеев Александр Георгиевич | д.т.н. | | |

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ

13.04.02 электроэнергетика и электротехника

| Код результата | Наименование компетенции |
|---|--|
| Универсальные 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, выработать 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. |
| Общепрофессиональные компетенции | |
| 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. |
| Профессиональные компетенции | |
| ПК(У)-1 | Способен выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности. |
| 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
 _____ Гарганцев А.Г.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|---|
| Магистерской диссертации |
| <i>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</i> |

Студенту:

| | |
|---------------|-------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 5AM06 | Струкову Ростиславу Игоревичу |

Тема работы:

| | |
|--|---------------------|
| «Разработка лабораторного стенда для управления электроприводами системы вентиляции» | |
| Утверждена приказом директора (номер, дата): | 344-50/с 10.12.2021 |

| | |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 31.05.2022 |
|--|------------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|--|---|
| <p>Исходные данные к работе <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> | <ul style="list-style-type: none"> • Объектом исследования является лабораторный стенд для исследования приточной вентиляции. • Описать лабораторную установку и проанализировать взаимосвязь глобальных переменных с объектом управления. • Предоставить методику настройки динамических контуров. |
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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)</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Привести краткий литературный обзор • Описание лабораторного стенда • Настройка ПИД-регулятора • Подготовка функциональных блоков в CoDeSys • Настройка динамических контуров • Формирование лабораторной работы • Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение • Социальная ответственность • Раздел на иностранном языке • Заключение |
| <p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Общий вид исследуемого стенда • Мнемосхема контрольной панели оператора |

| | |
|--|---------------------------------|
| | • Переходный процесс температур |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i> | |
| Раздел | Консультант |
| Социальная ответственность | Черемискина Мария Сергеевна |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Былкова Татьяна Васильевна |
| Раздел на иностранном языке | Федоринова Зоя Владимировна |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | |
| Введение; Описание лабораторного стенда; заключение. | |

| | |
|---|------------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | 28.02.2022 |
|---|------------|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор | Букреев Виктор Григорьевич | д.т.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 5АМ06 | Струков Ростислав Игоревич | | |

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

Студенту:

| | |
|--------|----------------------------|
| Группа | ФИО |
| 5AM06 | Струков Ростислав Игоревич |

| | | | |
|---------------------|--------------|---------------------------|---|
| Школа | | Отделение школы (НОЦ) | Электроэнергетика и электротехника |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | 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 | Оклад ИР – 26300руб, Оклад инженера – 17000руб. |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов | Нормы амортизации – 20 % |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования | Отчисления в социальные внебюджетные фонды – 30,2 % |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|--|
| 1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ | Определение потенциальных потребителей результатов исследования; Анализ конкурентных технических решений; SWOT – анализ. |
| 2. Разработка устава научно-технического проекта | Цели и результат проекта; Организационная структура проекта. |
| 3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок | Составление календарного плана проекта; Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; Расчет бюджета научно – технического исследования (НТИ) Расчет реестр рисков проекта |
| 4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности | Оценка сравнительной эффективности исследования |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица-SWOT
2. Диаграмма Ганта
3. Сегментирование рынка
4. График проведения НТИ
5. Иерархическая структура работ по проекту
6. Сравнительная эффективности исследования

| | |
|---|-----------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 7.02.2022 |
|---|-----------|

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|------------------|----------------------------|------------------------|---------|-----------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| доцент ОСГН ШБИП | Былкова Татьяна Васильевна | канд.экон.наук | | 7.02.2022 |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|--------|----------------------------|---------|-----------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 5AM06 | Струков Ростислав Игоревич | | 7.02.2022 |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---|
| Группа | | ФИО | |
| 5AM06 | | Струков Ростислав Игоревич | |
| Школа | Инженерная школа энергетики | Отделение (НОЦ) | Отделение электроэнергетики и электротехники |
| Уровень образования | Магистратура | Направление/ специальность | 13.04.02«Электроэнергетика и Электротехника» |

Тема ВКР:

Разработка лабораторного стенда для управления электроприводами системы вентиляции

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|--|---|
| <p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места при эксплуатации) | <p>Объект исследования – разработка лабораторной установки для исследования динамических процессов в системе вентиляции в среде CoDeSys, разработка методики настройки динамических контуров.</p> <p>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.</p> <p>Рабочая зона – лаборатория. Размеры помещения 35 м². Количество и наименование оборудования рабочей зоны: 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).</p> <p>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне, где есть естественная вентиляция, освещение смешанное, ПК и рабочий стол оператора.</p> |
|--|---|

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|--|
| <p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы | <p>ГОСТ 21889-76 Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ Р 55710–2013. Освещение рабочих мест внутри зданий СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.</p> <p>ГОСТ 22269-76 Система «человек-машина». Рабочее место оператора.</p> |
|---|--|

| | |
|--|---|
| <p>трудового законодательства;</p> <p>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p> | <p>Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования; ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p> <p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</p> |
| <p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <p>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p> <p>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</p> | <p>– Вредные производственные факторы в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015: шум, освещение, микроклимат, вибрации.</p> <p>– Опасные факторы, относящиеся к оборудованию: электрический ток, короткое замыкание, статическое электричество.</p> <p>– Средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: СИЗ, соблюдение техники безопасности</p> <p>– Расчет будет производиться по воздействию электрического тока</p> |
| <p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</p> | <p>Воздействие на селитебную зону - твердые отходы: бытовой мусор (отходы бумаги, отработанные специальные ткани для протирки офисного оборудования и экранов мониторов); Воздействие на литосферу - отработанные люминесцентные лампы; офисная техника, комплектующие и запчасти электроники и микропроцессорной техники</p> <p>Воздействие на гидросферу - размещение отходов на свалках ведет к выделению метана. Микропроцессорная техника, содержащая в себе тяжелые металлы</p> <p>Воздействие на атмосферу - сжигание отходов ведет к выбросу газов из труб сжигающих их заводов. Эти газы содержат опасные химические вещества.</p> |
| <p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</p> | <p>Возможные ЧС – поражение током, пожар.</p> <p>Наиболее типичная ЧС – возникновение пожара в следствии короткого замыкания.</p> |
| <p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику 07.02.2022</p> | |

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|-----------------------------|------------------------|---------|------------|
| старший преподаватель | Черемискина Мария Сергеевна | | | 07.02.2022 |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------------|
| 5АМ06 | Струков Ростислав Игоревич | | 07.02.2022 |

Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники
 Период выполнения: осенний / весенний семестр 2021/2022 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

| | |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 31.05.2022 |
|--|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования) | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|--|------------------------------------|
| 16.01.2022 г. | Составление и утверждение технического задания | 5 |
| 19.01.2022 г. | Разработка календарного плана | 10 |
| 30.01.2022 г. | Изучение литературы | 10 |
| 6.02.2022 г. | Освоение работы программного модуля CoDeSys | 10 |
| 9.02.2022 г. | Настройка лабораторного стенда | 10 |
| 18.02.2022 г. | Описание работы переменных виртуального ПЛК с лабораторным стендом | 20 |
| 22.02.2022г. | Снятие переходных процессов | 10 |
| 15.03.2022 г. | Исследования динамических процессов | 10 |
| 26.04.2022 г. | Методика настройки динамических контуров | 5 |
| 20.05.2022 г. | Оформление пояснительной записки | 10 |
| 28.05.2022 г. | Итог | 100 |

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор | Букреев Виктор Григорьевич | д.т.н. | | |

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор | Гарганеев Александр Георгиевич | д.т.н. | | |

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 139 страниц, 59 рисунков, 26 таблиц, 28 источника, 1 приложение.

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

Цель работы – на примере лабораторного стенда, разработать и исследовать методы изучения автоматике недорогими средствами на базе программного модуля CoDeSys, представить методику настройки динамических контуров

Область применения: обучение, переобучение и повышение квалификации специалистов.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2019, моделирование в Scilab, CoDeSys., управление стендом осуществляется с помощью CoDeSys.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----------|
| Обозначения и сокращения | 12 |
| ВВЕДЕНИЕ..... | 13 |
| 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРИНЦИПА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ..... | 16 |
| 1.1 Обзор существующих технических реализаций программируемых логических контроллеров | 18 |
| 1.2 Подключение промышленных исполнительных и измерительных устройств к программируемому логическому контроллеру | 26 |
| 1.3 Вывод по разделу..... | 35 |
| 2 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ..... | 36 |
| 2.1 Методика формирования переменных для визуализации и программирования..... | 38 |
| 2.2 Построение элементов панели управления лабораторным стендом..... | 44 |
| 2.3 Планирование выполнения задач в многопоточной систему программируемого логического контроллера | 48 |
| 2.4 Разработка автоматизированного средства для получения переходных процессов | 49 |
| 2.5 Выводы по разделу | 51 |
| 3 СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ | 53 |
| 3.1 Сравнительный анализ существующих методов настройки параметров ПИД - регулятора..... | 53 |
| 3.1.1 Метод Циглера - Никольса..... | 55 |
| 3.1.2 Модульный оптимум | 57 |
| 3.1.3 Симметричный оптимум | 58 |
| 3.2 Настройки динамического контура температуры калорифера..... | 59 |
| 3.3 Реализация замкнутой системы в CoDeSys. | 63 |
| 3.4 Методика настройки динамических контуров лабораторной установки приточной вентиляции | 68 |
| 3.5 Выводы по разделу | 70 |
| 4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ | 71 |
| Введение | 71 |
| 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования..... | 71 |
| 4.2 Анализ конкурентных технических решений | 72 |
| 4.3 SWOT-анализ | 74 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.4 | Оценка готовности проекта к коммерциализации | 77 |
| 4.5 | Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования | 78 |
| 4.6 | Инициализация проекта | 79 |
| 4.7 | Планирование управления научно-техническим проектом | 81 |
| 4.7.1 | Иерархическая структура работ проекта | 81 |
| 4.7.2 | Контрольные события проекта | 82 |
| 4.8 | Бюджет научного исследования | 86 |
| 4.9 | Реестр рисков проекта | 92 |
| 4.10 | Оценка сравнительной эффективности исследования | 94 |
| 4.11 | Выводы по разделу: | 96 |
| 5 | СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ | 98 |
| | Введение | 98 |
| 5.1 | Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .. | 99 |
| 5.2 | Производственная безопасность | 100 |
| 5.3 | Анализ опасных и вредных производственных факторов: | 101 |
| 5.4 | Экологическая безопасность при эксплуатации | 112 |
| 5.5 | Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 113 |
| 5.6 | Вывод по разделу | 115 |
| | ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 118 |
| | СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ | 119 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ А | 123 |

Обозначения и сокращения

ПЛК – программируемый логический контроллер.

ПИД – пропорциональный, интегральный, дифференциальный

САУ – система автоматического управления

ТАУ – теория автоматического управления

ПК – персональный компьютер

ЭРИ – электрорадиоизделие

АЦП – аналого-цифровой преобразователь

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом

ВВЕДЕНИЕ

Основной целью промышленности является структурная модернизация и в следствие того развитие и наращивание производства, увеличение эффективности, производительности труда и качества выпускаемой продукции, ускорение научно-технического прогресса. Это возможно при помощи внедрения систем автоматизации, что дает возможность уменьшить количество операций, сделанных человеком, что дает как можно меньше исключить “человеческий фактор”, который может привести к разным ошибкам, сбоям и авариям.

На сегодняшний день наблюдается существенный рост потребности в современных инструментах производства и автоматике. Широкое распространение и доступность персональных компьютеров привели к появлению большого числа специалистов, профессионально владеющих компьютерными технологиями. В связи с этим неудивительно, что сегодня персональные компьютеры массово используются в самых разных областях промышленной автоматизации, включая классические контрольные задачи.

В настоящее время особое внимание уделяется технологии создания программного обеспечения в системах, построенных на основе ПЛК, и программированию на языках стандарта МЭК 61141–3.

Неправильное программное обеспечение ПЛК может привести к потере синхронной работы механизмов, а также вызвать травмы обслуживающего персонала. В правильной спроектированной системе должны быть предусмотрены элементы блокировки, которые исключают такую возможность.

Из-за жёсткого дефицита высококвалифицированных специалистов, с навыками работы с ПЛК, понимающих алгоритмы работы, на базе лабораторной установки будут описаны основные тонкости работы системы приточной вентиляции.

Как и было написано выше в качестве примера была взята система приточной вентиляции, которая имеет широкое применение в промышленных, торговых зданий так и в жилых сооружениях. Его конструкция включает в себя воздушный клапан, который оснащен электроприводом, чтобы его открытие и закрытие соответствовало с включением-выключением всей системы вентиляции, фильтра, для очистки приточного воздуха и определения пригодности подаваемого воздуха в помещение, калорифера, для нагрева поступающего воздуха с улицы и вентилятора, он обеспечивает нужный воздушный поток в вентилируемое помещение.

Нередко обладающими компетенциями специалисты сталкиваются с проблемами настройки динамических параметров ПИД-регулятора, также и алгоритмы отработки внештатных ситуации могут ввести в заблуждение. Это может произойти, как и при работе в офисе так и на реальном объекте, где идет работа производственного оборудования (шум, вибрации). В таких условия специалист может не справиться с поставленной задачей и некорректно настроить систему автоматизации. Поэтому необходимо построение лабораторной установки, которая позволила бы вырабатывать необходимые компетенции специалиста, для корректной и адекватной настройки реального технологического комплекса.

Система управления подобным лабораторным стендом, как правило, базируется на программном комплексе CoDeSys, в котором уже имеются необходимые элементы программирования. Эта программа является бесплатной и обладает большой популярностью в среде программирования МЭК. С каждым годом все больше и больше выпускается ПЛК с возможностью построения и детального описания алгоритмов управления технологическим процессом в среде CoDeSys.

Разработанный лабораторный стенд выполнен с использованием технологии 3D печати, которая позволила сконструировать и воплотить в жизнь корпус установки. Роль ПЛК выполняет ПК с предустановленным CoDeSys. При помощи встроенного эмулятора через Wi-Fi модуль по UART

протоколу реализована связь с лабораторной установкой. Реализованные и апробированные программные конструкции и материалы позволят использовать их при проведении учебных работ по таким дисциплинам, как ТАУ и САУ для студентов ТПУ с целью повышения их компетенций в области синтеза систем автоматического управления компонентов приточной вентиляции.

1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРИНЦИПА РАБОТЫ СИСТЕМЫ ПРИТОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Исходя из того какие функции должна выполнять система приточной вентиляции она может состоять из различных функциональных элементов. В составе системы вентиляции есть ключевые элементы, без которых система не будет корректно работать, так и элементы являющиеся опциональными, наличие которых определяет пользователь. Например, при планировании охлаждения в летний период времени, необходима установка холодильных секций.

Структурная схема приточной вентиляции представлена на рисунке 1.1:

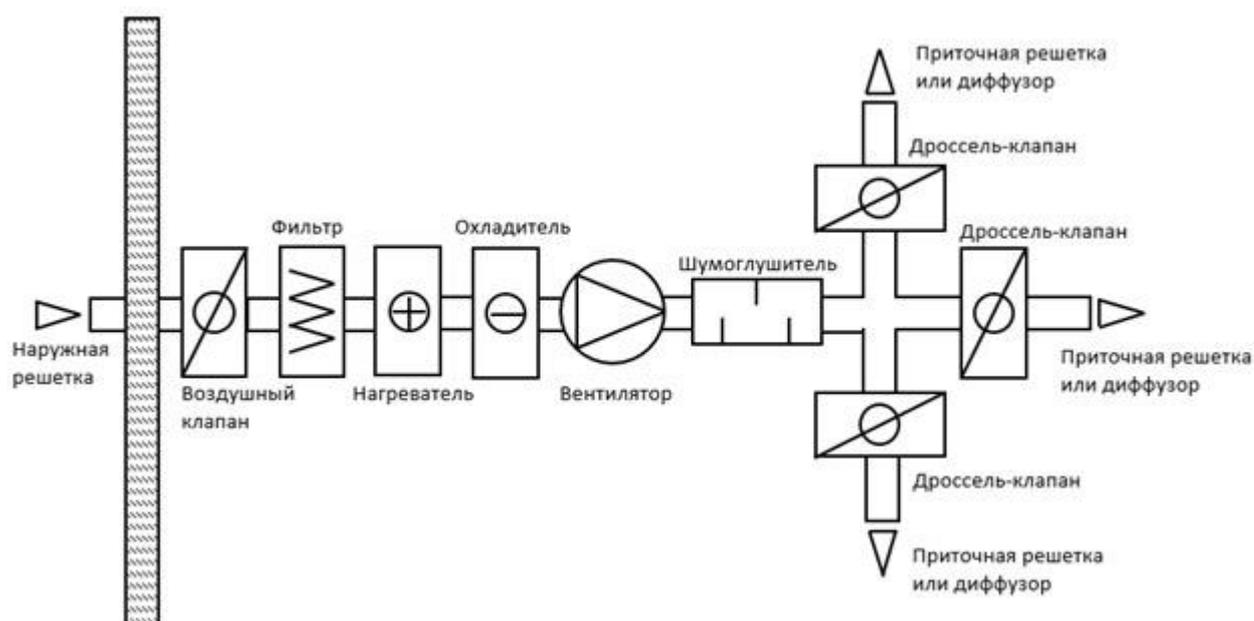


Рисунок 1.1 – Типовая схема системы приточной вентиляции

Работа структурных элементов схемы приточной вентиляции заключается в следующем:

При выключенной системе вентиляции воздушный клапан находится в закрытом состоянии, тем самым не дает перемещаться воздуху в системе воздуховодов. При запуске системы открывается и является первым функциональным элементом системы.

Воздушный фильтр задерживает механические загрязнения, поступающие в помещение совместно с приточным воздухом. Фильтры различаются по уровню очистки:

- фильтры грубой очистки
- фильтры тонкой очистки
- фильтры сверхтонкой очистки

Калорифер необходим 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 является основным элементом любой вентиляционной системы, обеспечивая необходимый поток воздуха по вентиляционным каналам и элементам.

Шумопоглотитель необходим для демпфирования звуковых колебаний, так как вентиляторы большой производительности генерируют значительное количество шума, который, проходя по вентиляционным каналам, не затухает и может доставить большой дискомфорт.

Дроссель-клапан формирует необходимую траекторию перемещения воздушных масс, так как перемещаясь по вентиляционным каналам, воздух избирает путь наименьшего сопротивления и может не достигнуть целевой точки.

Обобщенно приточная вентиляция работает следующим образом: наружный воздух поступает через воздушный обратный клапан и, проходя через воздуховод, попадает в секцию фильтров, где происходит очистка от механических примесей и пыли. Очищенный воздух далее направляется в водяной калорифер, в котором происходит его нагрев за счет тепла горячей воды из магистрали сети. Затем воздух попадает в секцию вентилятора, из которой он транспортируется в приточный канал.

1.1 Обзор существующих технических реализаций программируемых логических контроллеров

Каждая автоматическая система включает в себя элементы, которые заставляют ее выполнять необходимые действия в нужном порядке, проще говоря образуют систему управления. Часть элементов управления систем автоматизации выполняются в виде электронных устройств. Если их сравнивать с механическими системами они выигрывают по надежности и цене, а также габаритам.

Зачастую специалисты, работающие в области автоматизации сталкиваются с проблемой реализации системы управления, в области, которая ему недостаточно знакома, где по мере формирования технического задания могут появляться новые условия по внедрению оборудования. Эти условия могут сильно усложнить реализацию поставленной задачи. Необходимо создать управляющее устройство, в котором была возможность изменения алгоритма работы, при этом не затрагивая монтажную схему системы управления, и в результате возникла логичная идея заменить системы управления с «жесткой» логикой работы (совокупность реле, регуляторов, таймеров и т.д.) на автоматы с возможностью программирования алгоритма работы. Это дало старт к развитию программируемых логических контроллеров (ПЛК).

ПЛК — это базовые элементы для построения алгоритма работы систем промышленной автоматики. На их основе построены все АСУ ТП, системы диспетчеризации. Мозгом ПЛК является вычислительное ядро, возможно такое же как и в персональном компьютере. Отличаются они тем, что ПК работает с человеком, а контроллер уставлен на объекте и работает непосредственно с технологическим оборудованием. Средством ввода для него являются разнообразные датчики состояния, положения, скорости, температуры, давления, уровня и т.д. [1]. ПЛК воздействует на управляющие органы, такие как реле, пускатели, электропривода, запорную арматуру и др.

Иногда ПЛК путают с микроконтроллерами, ведь это принципиально разные вещи. Микроконтроллером является сама плата, на которой располагаются ключевые входы выходы и разъем питания, а ПЛК является конечным продуктом уже в корпусе, с клемниками (Рисунок 1.2). Что такое ПЛК и основные его возможности представлены в международном стандарте МЭК 61131-1 [2].



Рисунок 1.2 – Внешний вид ПЛК

Идея создания компактного микроконтроллера с необходимым функционалом совсем не новая.

В России, в начале двухтысячных наиболее известным изготовителем таких решений является компания «Каскод» которая и по сей день выпускает платы. Контроллеры этой компании выпускают на микроконтроллерах

Infineon. Сердцем является мощное вычислительное ядро, обладают достаточным количеством памяти, встроенным АЦП, интерфейсом RS232, также есть возможность использования модуля расширения для подключения дополнительных устройств входа и вывода. Эти платы обладают стандартом CAN для возможности подключения исполнительных устройств, гальванической развязкой и элементами защиты. Все эти возможности реализованы на одной небольшой плате, где все элементы размещены в не один слой. Минусом является цена на ЭРИ, при покупке их в розницу. При этом нет никакой гарантии, но как правило комплектующие всегда есть в наличие на складах. Применение миниатюрных микропроцессорных контроллеров позволяет избежать проблемы с комплектацией, отладки, достижения минимальных размеров, при этом не покупая дорогостоящее оборудование и многослойные печатные платы. Также эти контроллеры обладают высокой ремонтпригодностью и обладают необходимыми массогабаритными характеристиками.

В настоящее время среди российских разработок широко используются ПЛК от компании ОВЕН, которые как правило поддерживают стандарт МЭК программирования и включают в себя набор библиотек CoDeSys и лицензию уже под конкретный контроллер, что позволяет легко реализовать систему управления.



Рисунок 1.3 – Микропроцессорный МЭК контроллер

Физически ПЛК представляет собой один или несколько блоков, имеющих определенный набор выходов и входов, для подключения датчиков и исполнительных механизмов (рисунок 1.4). Логика его работы описывается с помощью различных языков программирования и выполняется встроенным микропроцессором. В результате, абсолютно одинаковые ПЛК могут выполнять совершенно разные функции. Для изменения алгоритма работы не требуется каких-либо переделок аппаратной части.

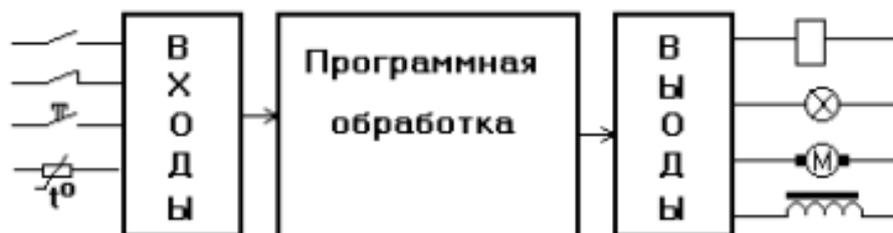


Рисунок 1.4 – Принцип работы ПЛК

Развитие электроники позволило создать миниатюрные ПЛК. , они обладают небольшими дисплеями, возможностью программирования используя необходимые инструменты. Подобные контроллеры называют

программируемым реле. Типовые задачи их достаточно просты. Для написания алгоритма работы используют ПК, а для подключения и загрузки необходимого программного обеспечения, как правило используют последовательный порт RS232. Используя ПК запрограммировать такую систему, становится тривиальной задачей. Применение ПК в качестве программирования ПЛК является доминирующим решением.

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. Одно из них является программный комплекс 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 [9].

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 [3].

CoDeSys ориентирован на применение в ПЛК среднего и высшего класса. Практика показала, что даже на 8 битных микроконтроллерах (8051, PIC, AVR) можно построить универсальный ПЛК только с рядом ограничений (вычисления с плавающей запятой, размер памяти, поддержка сетей). Уже благодаря 16 разрядным микроконтроллерам есть возможность создать ПЛК, обладающий всеми необходимыми возможностями. Таким образом, сочетание CoDeSys и микроконтроллеров Infineon является оптимальным решением позволяющим получить отличные технические характеристики контроллера.

Но при плюсах реализации данной технологии такие решения не пользуются большим спросом, так как цена может не укладываться в бюджет сметы. Если учесть стоимость комплектующих и ПО, то конечная стоимость не будет высокой. Из-за технических ограничений мини плата предполагает усложнение конструкции, добавление дополнительных разъемов. Также специалист, разрабатывающий необходимое ПО должен обладать всеми необходимыми средствами для реализации поставленной задачи, в том числе и лицензированием для корректной работы ПЛК.

Специалисты Beck IPC GmbH нашли решение и создали первые экземпляры микросхем, которые получили название IPC@CHIP®, они были представлены в далеком 1992 году. Реализация таких микросхем представлена на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Фото IPC@CHIP

В семейство IPC@CHIP входят 5 типов микросхем: SC11, SC12, SC13, SC11 IEC и SC13 IEC. По конструкции они абсолютно одинаковы (рисунок 1.6). Они совместимы как программно так и аппаратно на уровне выводов. Основные характеристики семейства приведены на рисунке 1.7.

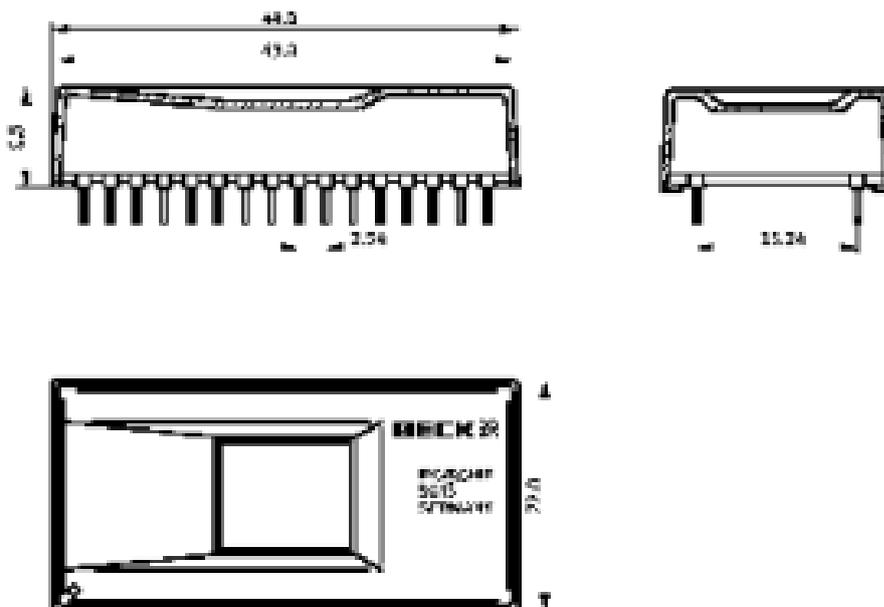


Рисунок 1.6 – Чертеж IPC@CHIP

| | SC11 | SC12 | SC13 |
|----------------------------|--------------------------|-----------|-------------|
| Процессор | BECK186 | AMD 186ED | BECK186 |
| Тактовая частота, МГц | 40 | 20 | 40 |
| Ethernet | Нет | 10BaseT | 10/100BaseT |
| Последовательные каналы | 2 UART, PC, SPI | | |
| Программируемые I/O | 14 PIO | | |
| Внешняя шина | 8 бит Intel AD-Bus | | |
| Входы прерываний | 6 | | |
| DMA | 2 | | |
| Аппаратные таймеры | 2 | | |
| Таймер сторож | 1 | | |
| Напряжение питания, В | 5 | | |
| Потребляемый ток, мА | 250 | 180 | 300 |
| Flash, Кбайт | 512 | | |
| ОЗУ, Кбайт | 512 | | |
| Температурный диапазон, °C | 0..70 | | |
| Корпус | DIP32 (22 x 44 x 9,5 мм) | | |

Рисунок 1.7 – Описание IPC@CHIP

Ныне широко популярна плата Arduino Uno, базирующаяся на микроконтроллере ATmega328. Платформа имеет 14 цифровых вход/выходов (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки. Её характеристики представлены в таблице 1.1, а внешний вид на рисунке 1.8.

Таблица 1.1 – Характеристики Arduino Uno

| | |
|------------------------------------|---|
| Микроконтроллер | ATmega328 |
| Рабочее напряжение | 5 В |
| Входное напряжение (рекомендуемое) | 7-12 В |
| Входное напряжение (предельное) | 6-20 В |
| Цифровые Входы/Выходы | 14 (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ) |
| Аналоговые входы | 6 |
| Постоянный ток через вход/выход | 40 мА |
| Постоянный ток для вывода 3.3 В | 50 мА |
| Флеш-память | 32 Кб (ATmega328) из которых 0.5 Кб используются для загрузчика |
| ОЗУ | 2 Кб (ATmega328) |
| EEPROM | 1 Кб (ATmega328) |
| Тактовая частота | 16 МГц |

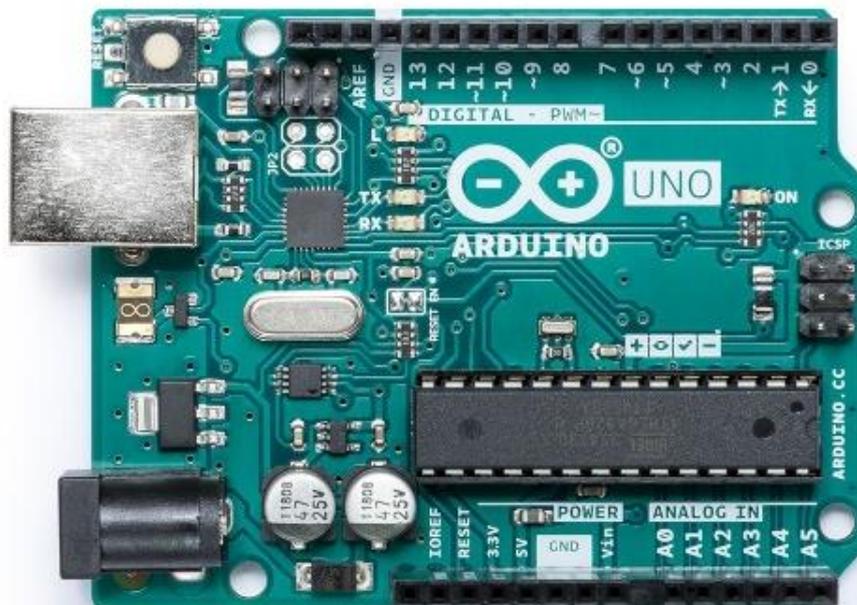


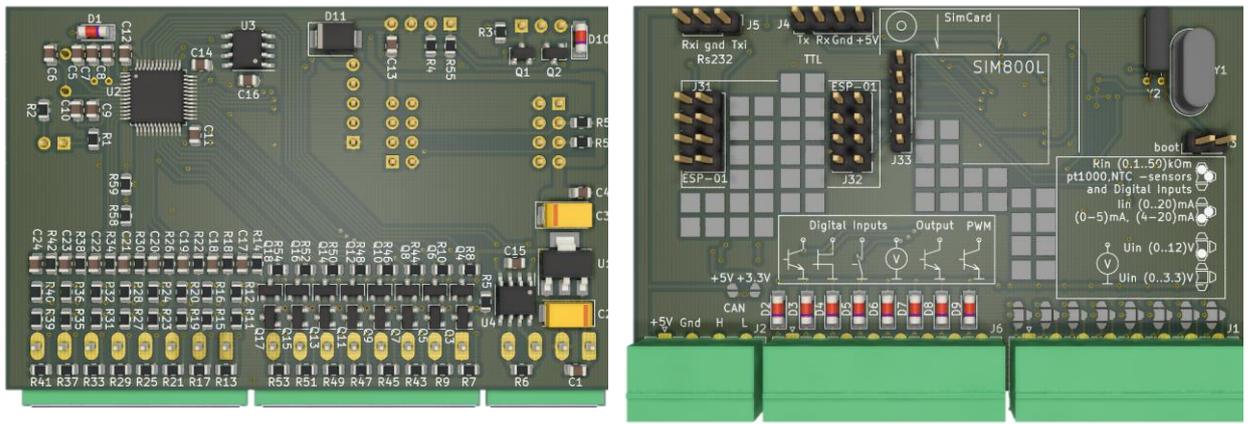
Рисунок 1.8 – Внешний вид Arduino Uno

1.2 Подключение промышленных исполнительных и измерительных устройств к программируемому логическому контроллеру

На базе вышеописанной Arduino Uno, Устименко А. Н была разработана плата, которая используется в разрабатываемом лабораторном стенде. В основе платы лежит микроконтроллер STM32F103C8T6, а связь для с ПК и прошивки будет осуществляться по UART TTL протоколу. Это решение является самым дешевым и отлично подходит для решения поставленной задачи (стоимость платы не более 1500 тыс. руб.).

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

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. Внешний вид платы представлен на рисунке 1.9



а

б

Рисунок 1.9 – Обратная сторона платы (*а*); лицевая сторона платы (*б*)

Аналоговые выходы служат для плавного управления, подключенными устройствами, схема подключения показана на рис. 1.10. Разделение у аналоговых выходов такое же, как и у входов (по току и по напряжению).

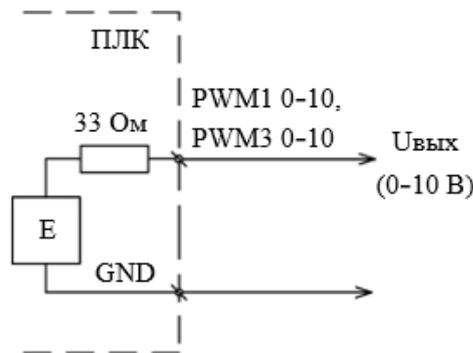


Рисунок 1.10 – Подключение внешних устройств с управляющим сигналом напряжения 0 – 10 В

Аналоговые входы служат для непрерывного ввода сигнала с датчиков и других внешних устройств. Работа с определенным типом датчика производится путем установки переключки на плате, как показано на рис. 1.11. Выбор одного из унифицированных токовых сигналов 0–5 мА и 4–20 мА осуществляется на этапе программирования платы.

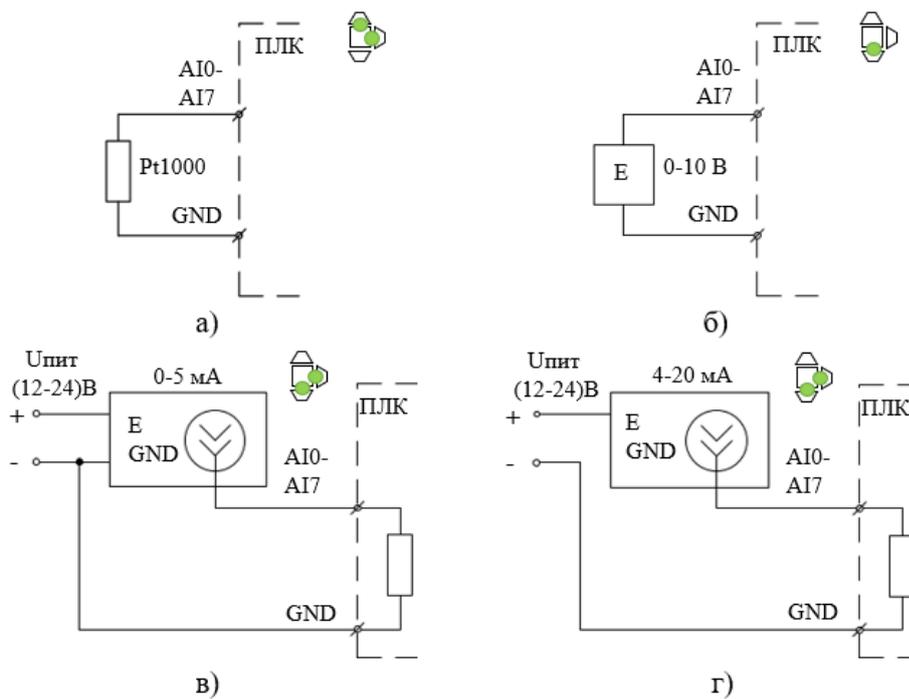
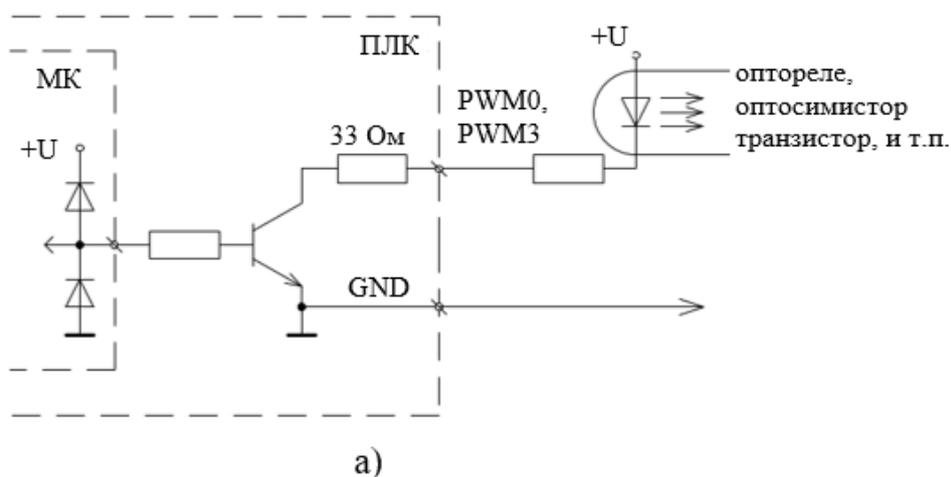


Рисунок 1.11 – Подключение датчиков НСХ Pt 1000 (а); с сигналом напряжения 0 – 10 В (б); с токовым сигналом 0 – 5 мА (в); с токовым сигналом 5 – 20 мА (г)

Дискретные выходы служат для управления подключенными устройствами, а также для формирования ШИМ сигнала коммутации высокого и низкого сигнала, схема подключения показана на рис. 1.12.



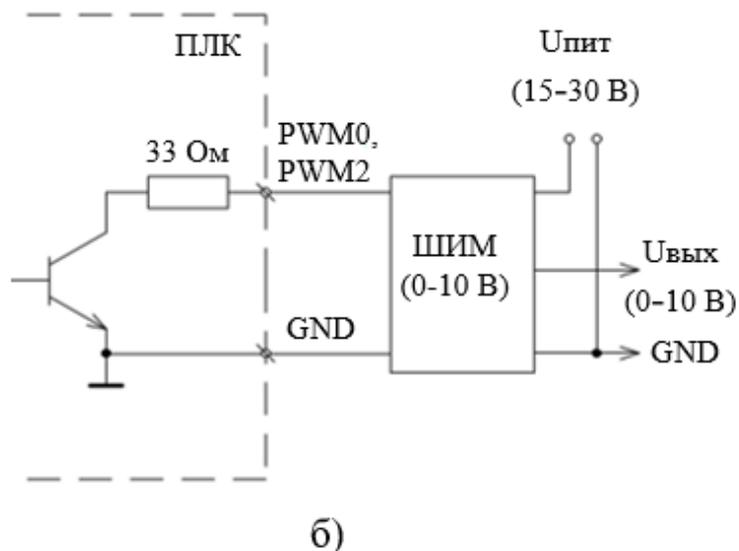
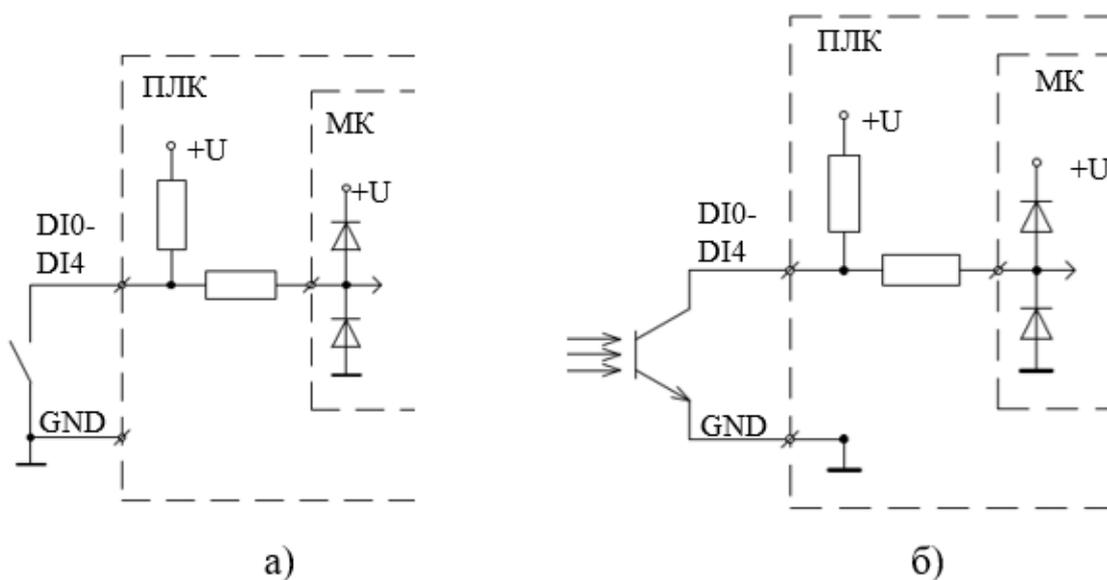


Рисунок 1.12 – Подключение внешних устройств к дискретным выходам типа «открытый коллектор» (а); подключение ШИМ устройств (б)

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 рисунке 1.13. [4].



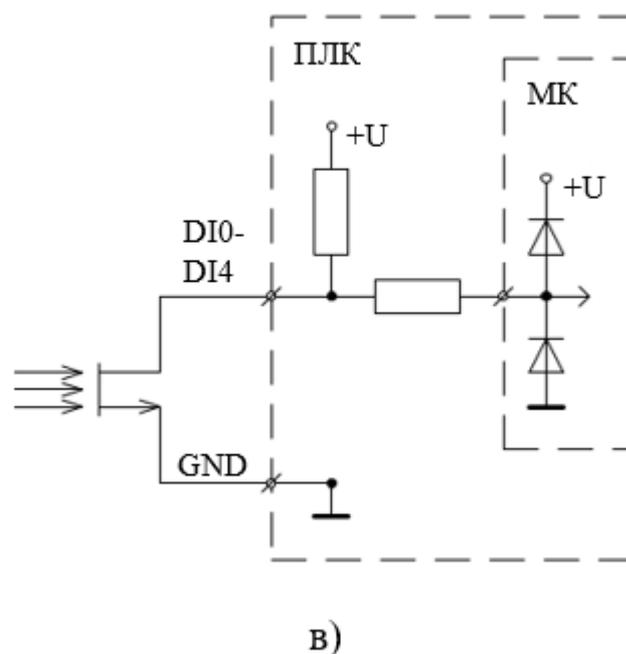


Рисунок 1.13 – Подключение датчиков типа «сухой контакт» (а); «открытый коллектор» (б); «открытый сток» (в)

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 [5]. Разработанная плата обладает следующими видами обмена данными:

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 рисунке 1.14. 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].

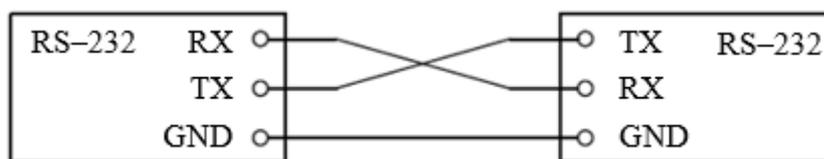


Рисунок 1.14 – Подключение RS–232

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.

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. 1.15 [6].

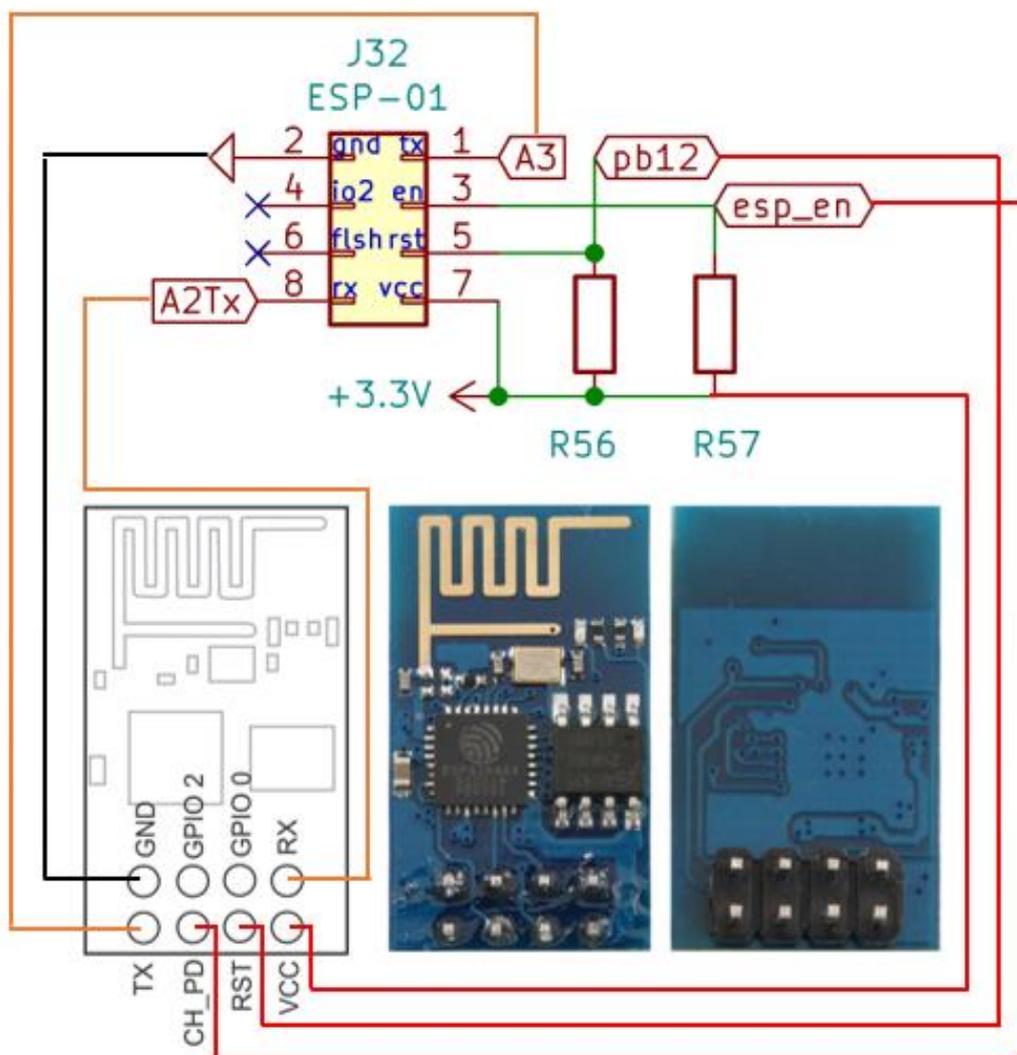


Рисунок 1.15 – Подключение Wi – Fi модуля ESP – 01

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. 1.16 [7].

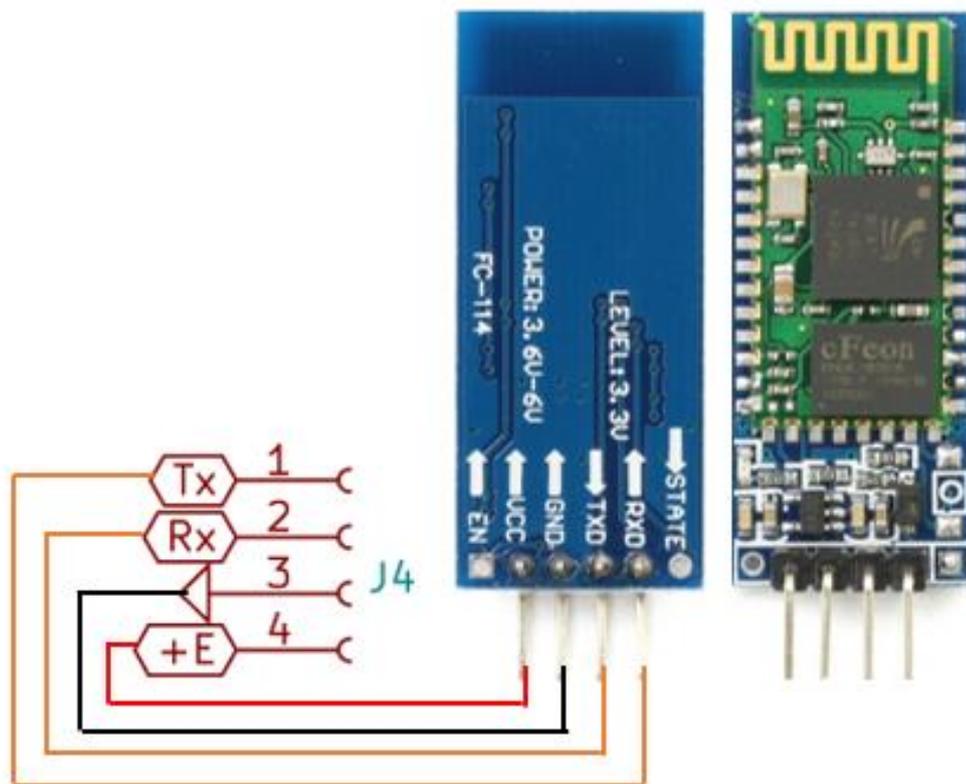


Рисунок 1.16 – Подключение Bluetooth модуля HC – 06

Помимо всего вышеперечисленного имеется возможность подключить GSM – модуль.

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.

При работе с виртуальной ПЛК необходимо объявить глобальные переменные в Modbus протоколе, который в свою очередь обеспечивает сбор, обмен, отдачу бит информации, часть кода приведена ниже, рис. 1.17.

```

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 1.17 – 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 скомпилируем следующий код, который показан на рис. 1.18:

```

0001 PROGRAM west
0002 VAR
0003   handle: DWORD :=INVALID_HANDLE ;
0004   brslt: BOOL;
0005   CmSettings: 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
0014 <
0001 IF handle = INVALID_HANDLE THEN
0002   CmSettings.Port :=COM4;
0003   CmSettings.dwBaudRate :=9600;
0004   CmSettings.byStopBits :=1;
0005   CmSettings.byParity :=0;
0006   CmSettings.dwTimeout :=0;
0007   CmSettings.dwScan :=0;
0008   handle :=SysComOpen(4);
0009   IF handle <> INVALID_HANDLE THEN
0010     brslt :=SysComSetSettings(handle, ADR(CmSettings));
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       gAl[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 1.18 – Код связи CoDeSys с исполнительными и измерительными устройствами

1.3 Вывод по разделу

- Приведённый литературный обзор помогает ознакомиться с ПЛК, как с устройством, благодаря которому можно строить большие и малые системы. Из него можно сделать вывод, что благодаря даже самым низкопроизводительным устройствам, по современным меркам, можно добиться поставленной задачи.

- Для формирования компетенций будущего специалиста в сфере автоматизации, студенту необходимо взаимодействие с реальным оборудованием, стоимость которого зачастую весьма высока. Так, например, цены на готовые решения ПЛК начинаются от 65 тысяч, что может быть непозволительной роскошью в современных реалиях. В работе приведена структура разработанного ПЛК, в структуру которого входит STM32f103c8t6, что позволяет существенно уменьшить стоимость лабораторного стенда

- Приведены типовые схемы подключения периферии, а также типы обмена данных между ПЛК и каким-либо другими устройствами. Также показана методика объявления глобальных переменных, которые отвечают за коммуникацию с использованием Modbus протокола.

2 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторный стенд выполнен в виде чемоданчика (430x310x130 мм) имитирующий помещение, благодаря этому есть возможность визуально отслеживать отработку ключевых узлов системы приточной вентиляции.

Управление стендом осуществляется при помощи среды CoDeSys, которая реализована по стандартам МЭК программирования. При помощи данной среды можем имитировать работу ПЛК, загружать сценарий, отслеживать отработку сценария, вручную можно корректировать и наблюдать изменения технологического процесса.

В лабораторный стенд входит, сервопривод (SG90) для регулирования заслонки, вентилятор (12В), калорифер (выполнен на 40 резисторах 1В, 150 Ом) и также внешний источник питания (12В, 2А).

Внешний вид установки представлен на рисунке 2.1.

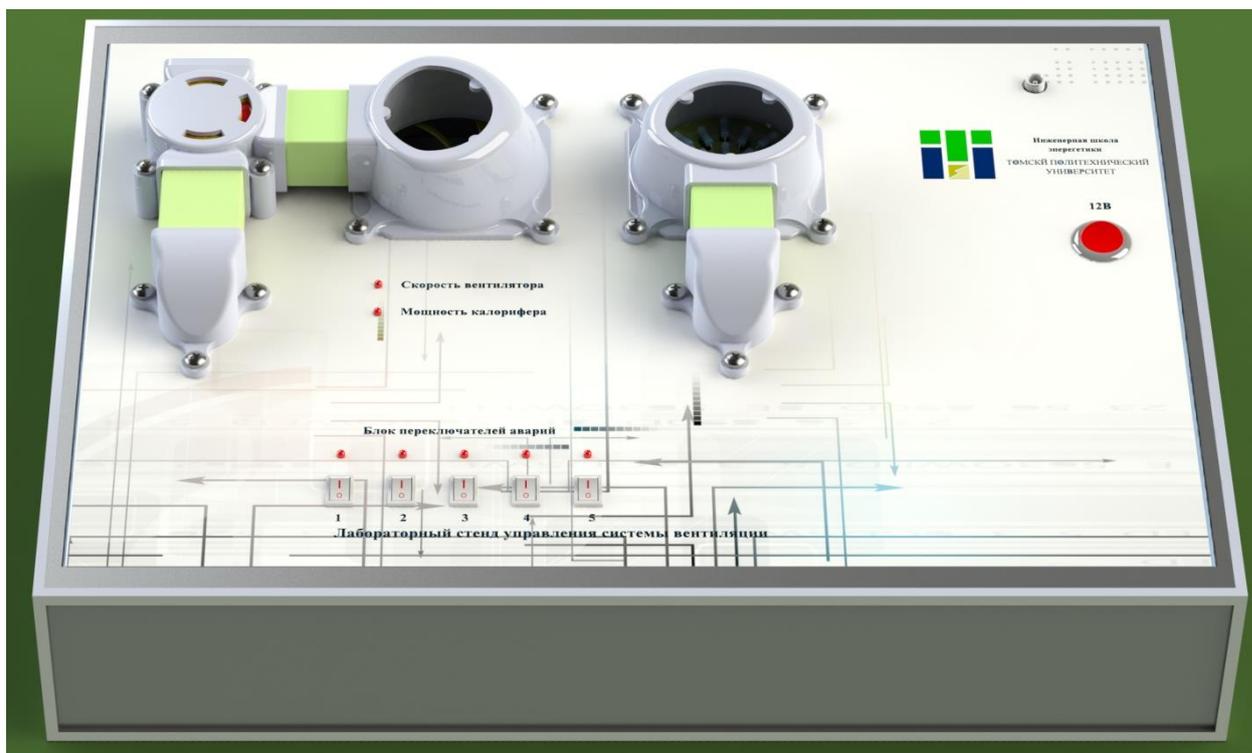


Рисунок 2.1 – Внешний вид лабораторного стенда

Поскольку различные компании стремятся выпускать продукцию мирового класса, растет необходимость в международном стандарте для автоматизации производства. Огромное влияние на производителей и пользователей должен оказать новый международный стандарт на языки программирования PLC – IEC 1131-3 (МЭК 61131-3) [8].

CoDeSys представляет собой набор инструментов благодаря которому можно осуществлять программирование совместимых ПЛК контроллеров или эмулировать виртуальный контроллер используя ПК, имеет широкое применение для автоматизации промышленных предприятий

Стандарт МЭК 61131-3 был разработан для описания пяти языков программирования, в число которых входят 3 визуальных языка (FBD, SFC, LD), которые предназначены для инженеров и бизнес-аналитиков, а также 2 текстовых (ST, IL), предназначенных для программистов. Они также имеют достаточную функциональность, простоту использования и предохраняют от большинства возможных промахов, которые часто возникают у пользователей с использованием обычных языков программирования. Помимо этого, МЭК 61141-3 полностью удовлетворяет требованиям стандарта, а также предоставляет пользователю дополнительные сервисы в виде расширенного набора библиотек функционального блока, реализующего типовые алгоритмы управления [9].

Взаимодействие лабораторного стенда с CoDeSys осуществляется при помощи OPC сервера и связывается по Modbus TCP/IP протоколу.

Технология OPC была разработана для унификации механизмов взаимодействия программного обеспечения систем управления с аппаратурой этих систем. OPC-сервер собирает данные с контроллера и предоставляет их клиенту. OPC-клиент взаимодействует с OPC-сервером при помощи определённых интерфейсов, благодаря этому любой OPC-клиент может общаться с любым OPC-сервером.

Для начала работы запускаем PLCWinNT (Пуск → Все программы → 3S Software → CoDeSys SP PLCWinNT → CoDeSys SP PLCWinNT V2.4) и

видим окно, сообщающее, что лицензия отсутствует доступна работа только в Демо режиме, при котором время работы составляет 2 часа. Через 2 часа связь с ПЛК будет отключена и его нужно будет перезапустить (рисунок 2.2)

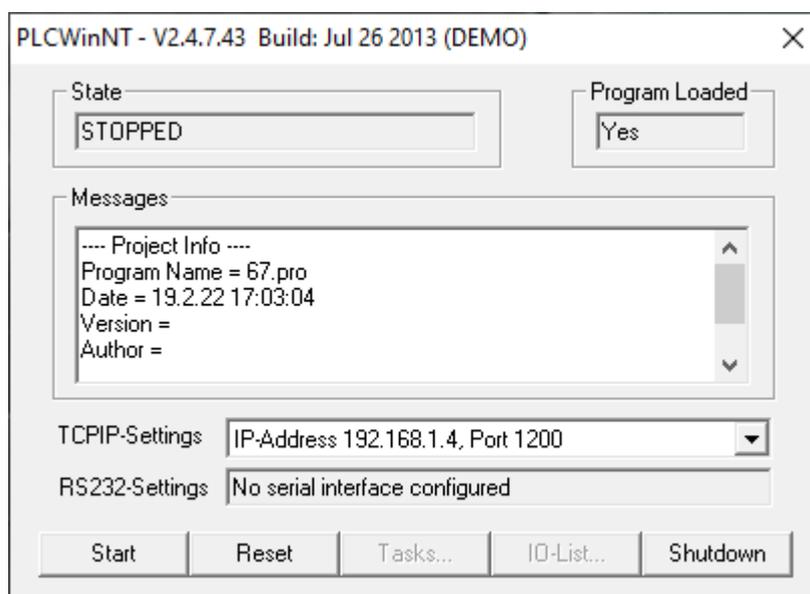


Рисунок 2.2 – Окно PLCWinNT

Для проверки связи с ПЛК запускаем проект и загружаем программу. Если связь настроена правильно, то в окне PLCWinNT отобразится информация о проекте.

2.1 Методика формирования переменных для визуализации и программирования

Глобальные переменные в программировании — переменные, областью видимости которой является вся программа, они используются в память в течение всей работы программы. Механизмы взаимодействия с глобальными переменными называют механизмами доступа к глобальному окружению или состоянию. Глобальные переменные используются для взаимодействия между процедурами и функциями для передачи и возвращения объявленных переменных значений. В CoDeSys они представлены на вкладке визуализации и показаны на рисунке 2.3:

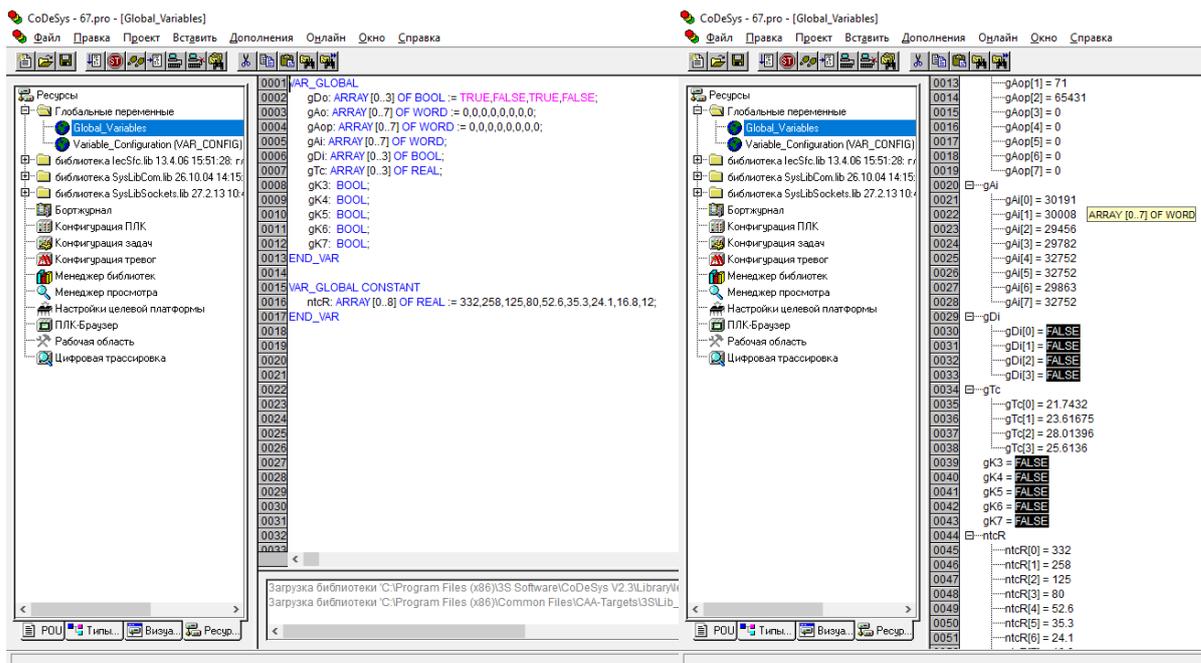


Рисунок 2.3 – Вкладка глобальных переменных в CoDeSys

Лабораторный комплекс имеет 8 дискретных ШИМ каналов $gAo[0-7]$ они варьируются от 0 до 1024, где 0, 1, 2, это мощность калорифера, скорость вентилятора и положение клапана соответственно, 3-7 кнопки на стенде 1-5.

Проведем несколько экспериментов для сопоставления влияния глобальных переменных на лабораторный стенд и рассмотрения динамики процессов.

Меняя положение «ползунок» $gAo[1]$, который отвечает за скорость вентилятора от минимального значения до максимального во вкладке глобальных переменных мы видим варьирующее значение дискрет ШИМ канала управления от 0 до 1024, где 0 вентилятор не работает, а 1024 работает на максимальной скорости (рисунок 2.4). Таким образом по количеству дискрет можно видеть величину управляющего сигнала. Аналогичным способом ведут себя ползунков положения барабана и мощности калорифера. Но стоит быть аккуратнее, так-как при большом заданном значении мощности калорифера можно нагреть пластик до температуры плавления и корпус калорифера может оплавиться и в худшем случае может произойти возгорание.

| | |
|---|--|
| <pre> gAo ├── gAo[0] = 54 ├── gAo[1] = 566 ├── gAo[2] = 0 ├── gAo[3] = 0 ├── gAo[4] = 0 ├── gAo[5] = 0 ├── gAo[6] = 0 └── gAo[7] = 0 </pre> | <pre> gAo ├── gAo[0] = 54 ├── gAo[1] = 1024 ├── gAo[2] = 0 ├── gAo[3] = 0 ├── gAo[4] = 0 ├── gAo[5] = 0 ├── gAo[6] = 0 └── gAo[7] = 0 </pre> |
|---|--|

Рисунок 2.4 – ШИМ каналы до и после увеличения скорости вентилятора до максимального значения

Из рисунка видно, что значение переменной gAo[1] изменилось с 566 до своего максимального значения. Также мы видим, что и на графике в CoDeSys показание температуры изменились. При увеличении скорости вентилятора уменьшается температура в калорифере t3, температура в помещении увеличивается t4 и принимает установившиеся значение. Это происходит из-за того, что при увеличении потока воздуха увеличивается обдув калорифера, тем самым охлаждая его. За счет интенсивного обдува нагрев помещения происходит быстрее. Далее переходные процессы принимают установившиеся значение (рисунок 2.5).

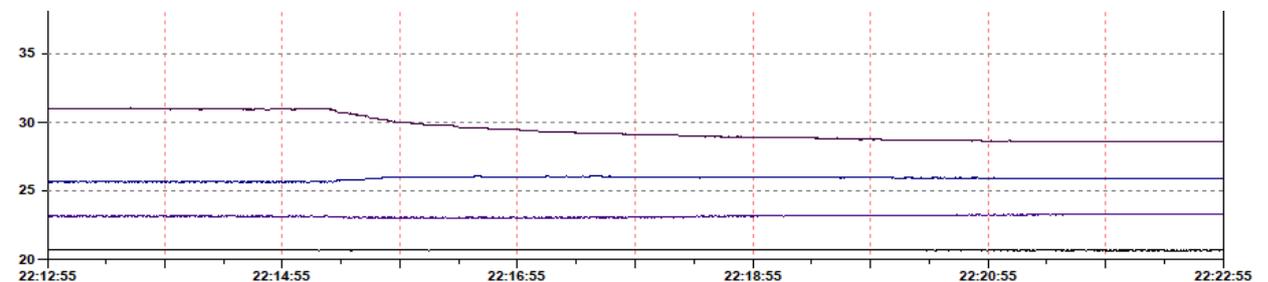


Рисунок 2.5 – График переходных процессов в CoDeSys после увеличения скорости вентилятора

Показания температурных датчиков отображаются во вкладке “Глобальные переменные”, как и температуры, описанные выше. Работа датчиков температуры, представлена на рисунке 2.6.

| | |
|--|---|
| <pre> gTc ├── gTc[0] = 20.70886 ├── gTc[1] = 23.13988 ├── gTc[2] = 31.04053 └── gTc[3] = 25.67876 </pre> | <pre> gTc ├── gTc[0] = 20.6143 ├── gTc[1] = 23.21891 ├── gTc[2] = 28.63328 └── gTc[3] = 25.92801 </pre> |
|--|---|

Рисунок 2.6 – Показания датчиков температуры в CoDeSys

Температуры сопоставимы с графиками переходных характеристик из чего можно сделать вывод, что переходная характеристика температур на вкладке визуализации совпадает с показаниями датчиков температуры во вкладке глобальных переменных.

Датчики имеют вид термисторов NTC3950–100к. Расположение датчиков внутри лабораторного стенда показано на рисунке 2.7.

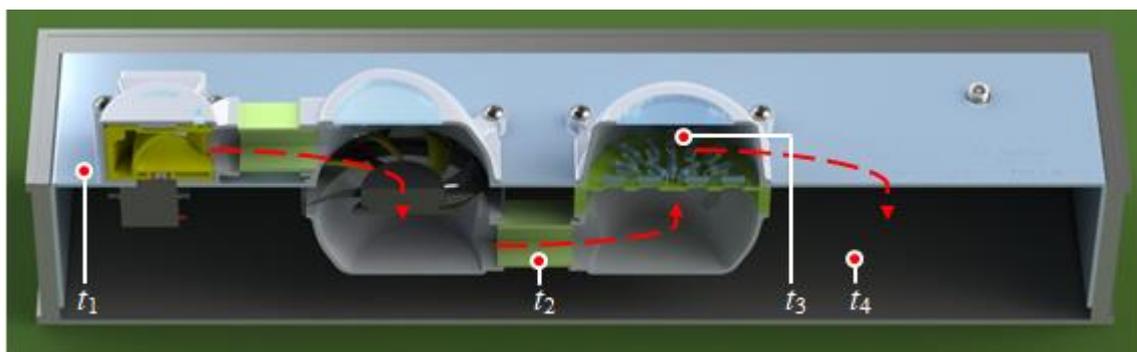


Рисунок 2.7 – Расположение датчиков температуры на лабораторном стенде

Следующим этапом увеличим мощность калорифера, изменение переменных представлено на рисунках 2.8 и 2.9:

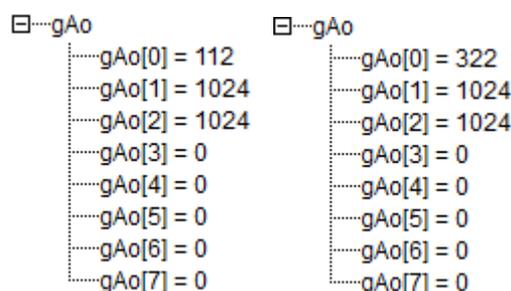


Рисунок 2.8 – ШИМ каналы до и после увеличения мощности калорифера

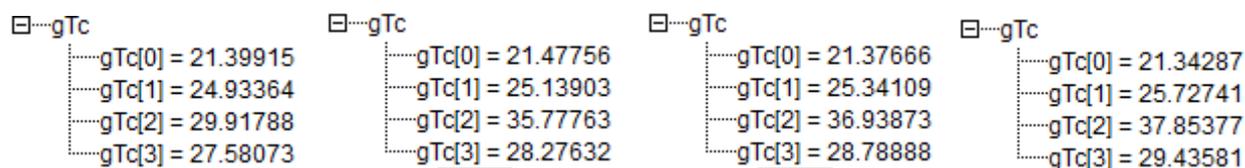


Рисунок 2.9 – Показания датчиков температуры в CoDeSus

В результате работы получен переходный процесс при увеличении потребляемой мощности калорифером. Он представлен на рисунке 2.10

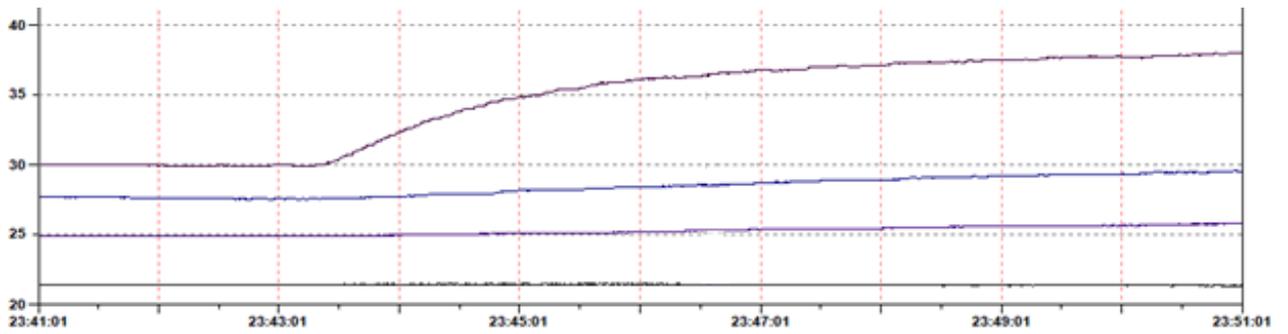


Рисунок 2.10 – График переходных процессов в CoDeSus после увеличения мощности каллорифера

Из графика видно, что при увеличении мощности каллорифера существенно возрастает температура в самом каллорифере, также наблюдается изменение температуры, как и в помещении, так и на обдуве вентилятора

Следующим этапом уменьшим скорость вентилятора. В установившемся режиме получаем увеличение температуры внутри каллорифера и незначительные изменения температуры в помещении и на вентиляторе в сторону увеличения. Исходя из этого можно сделать вывод, что чем меньше обдув воздуха, тем больше температура на каллорифере. Изменение переменных при таком регулировании представлено на рисунках 2.11 и 2.12, также получены кривые переходных процессов (рисунок 2.13).

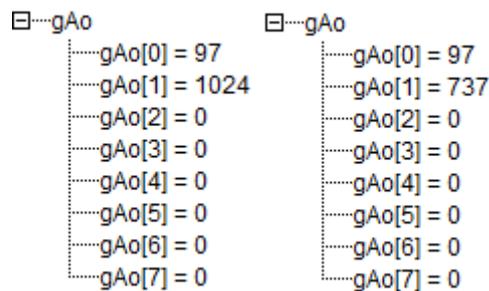


Рисунок 2.11 – Данные в ШИМ каналах до и после уменьшения скорости вентилятора

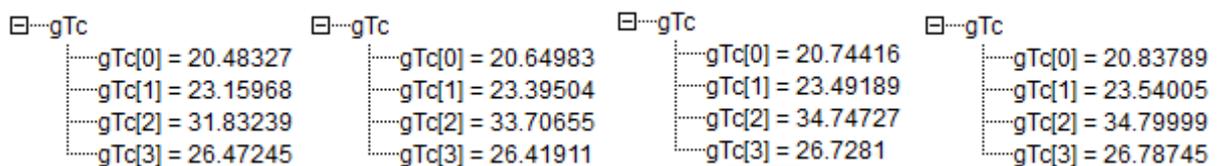


Рисунок 2.12 – Показания датчиков температуры в CoDeSus после уменьшения скорости вентилятора

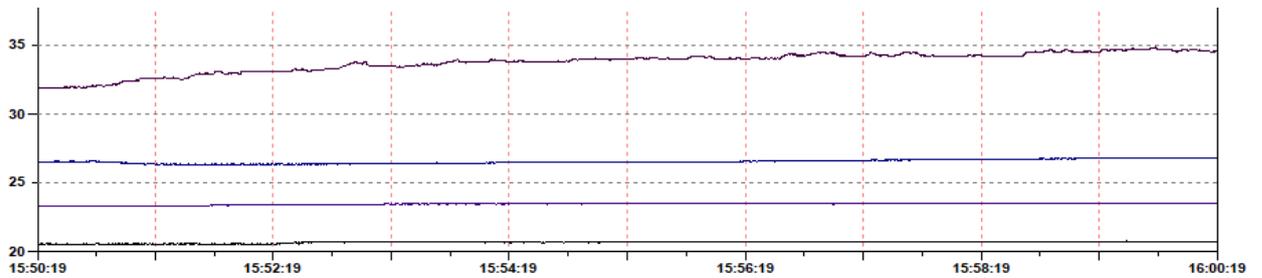


Рисунок 2.13 – График переходных процессов в CoDeSus после уменьшения скорости вентилятора

В последнем эксперименте калорифер отключается. Изменение переменных представлено на рисунках 2.14, 2.15.

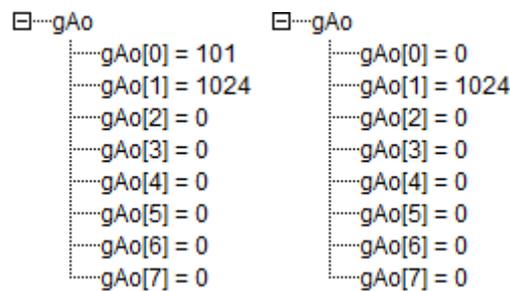


Рисунок 2.14 – Данные в ШИМ каналах до и после отключения калорифера

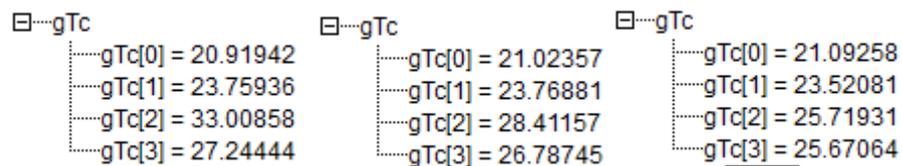


Рисунок 2.15– Показания датчиков температуры в CoDeSus после отключения калорифера

Аналогичным образом получен переходный процесс при отключении калорифера. Он представлен на рисунке 2.16.

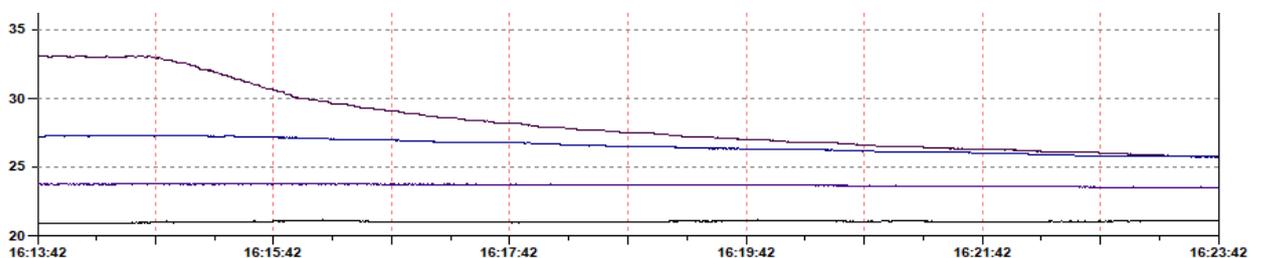


Рисунок 2.16 – График переходных процессов в CoDeSus после отключения калорифера

В конечном итоге температура в калорифере стала равной температуре внутри помещения, температура вентилятора не изменилась, так-как температура воздуха, поступающая из окружающей среды, не изменилась.

В итоге изменение переходных процессов можно добиваться путем изменения трех переменных (скорость вентилятора, мощность калорифера, положение заслонки для подмеса воздуха) в одностороннем или в комбинированном способом тем самым добиваясь получения воздуха в ключевых узлах нужных нам параметров.

2.2 Построение элементов панели управления лабораторным стендом

Визуализация позволяет представить переменные проекта в графическом виде, средством визуализации является мнемосхема.

Мнемосхема служит для удобства восприятия всей картины технологического процесса объекта, представляет собой совокупность сигнальных устройств и сигнальных изображений (в данном случае внутри проекта на ПК с установленным CoDeSys) и внутренних связей контролируемого объекта, графически показывая расположение ключевых узлов системы, тем самым дает понять человеку-оператору структуру проекта, взаимосвязь параметров, назначение основных органов управления [10].

Для оператора, управляющего технологическим процессом, мнемосхема служит ключевым источником информации, позволяет мониторить ситуацию в режиме реального времени и принимать сопутствующие решения, в частности об аварии или нарушении устойчивости работы системы.

В рамках проекта оператор может видеть стрелочные индикаторы положения барабана мощности калорифера скорость вентилятора и менять их значения при помощи слайдера. Также на мнемосхеме проекта есть программируемые кнопки с помощью, которых можно выполнять разного рода операции исходя из программного кода. Также отображается график

переходных процессов температур, описанных в пункте выше, с их помощью можно в режиме реального времени следить за динамикой переходных процессов и анализируя применять управляющее воздействие для поддержания нужных нам параметров.

Мнемосхемы в программе проекта CoDeSus изображена на рисунке 2.17.

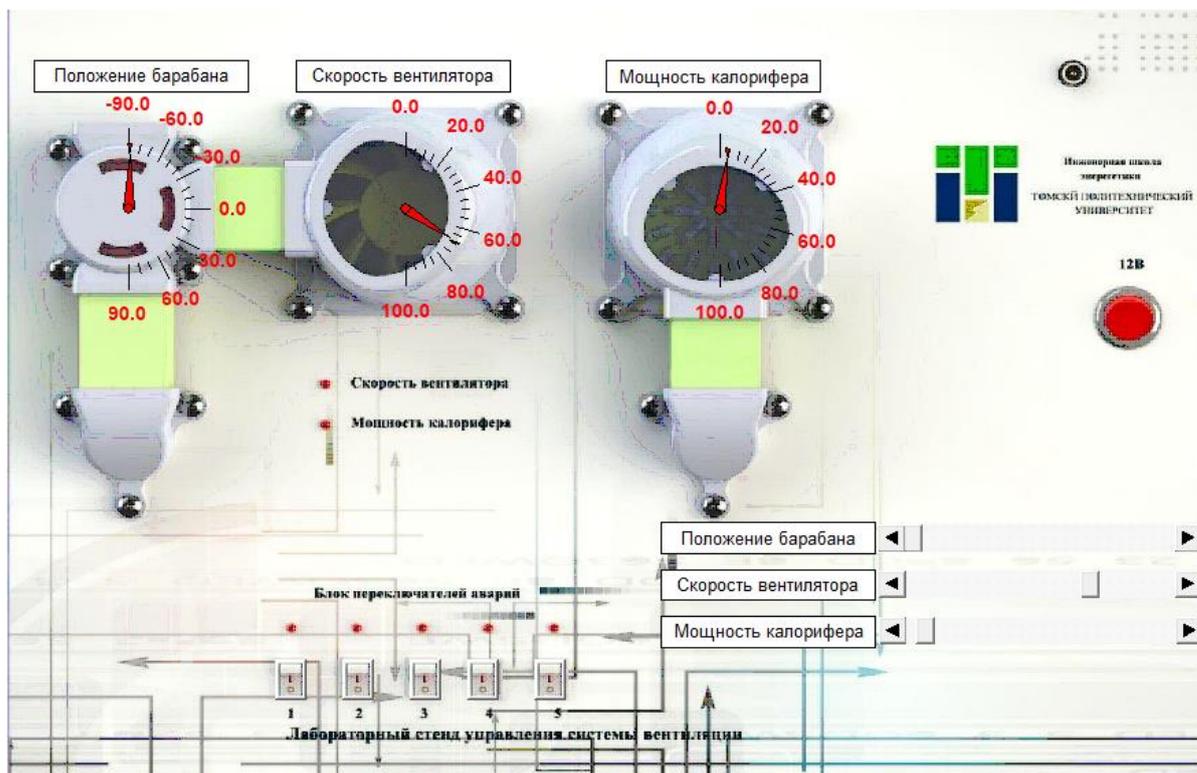


Рисунок 2.17 – Иллюстрация мнемосхемы для управления лабораторным стендом

На самой лабораторной установке есть кнопки с помощью, которых можно воздействовать на схему. Их можно нажимать, как и на мнемосхеме так и на самом лабораторном стенде (Рисунок 2.18).



Рисунок 2.18 – Иллюстрация кнопок на лабораторном стенде

При нажатии на кнопку на мнемосхеме значение переменной будет показывать 1024 а светодиод на лабораторном стенде загорит ярко красным светом, так-как это ШИМ каналы, то яркость светодиода можно регулировать слайдером от 0 до 1024 дискрет. На стенде можно физически нажимать на переключатели и добиваться максимального свечения светодиода. Изменение переменных будет фиксироваться во вкладке глобальных переменных (рисунок 2.20). Последняя кнопка не имеет обратной связи, поэтому при нажатии ее на лабораторном стенде мы не увидим изменение переменной. Вид слайдера на мнемосхеме изображен на рисунке 2.18. Изменение во вкладке глобальных переменных при нажатии кнопки приведены на рисунке 2.19.

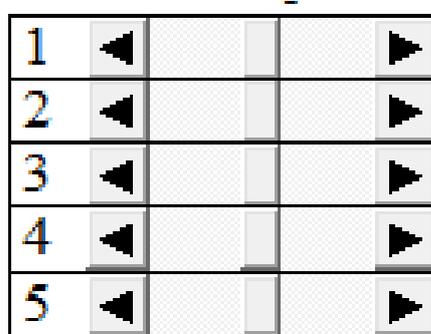


Рисунок 2.19 – Иллюстрация слайдера на мнемосхеме для управления ШИМ сигнала



Рисунок 2.20 – нажатые кнопки 2 gAo[4] и 4 gAo[6] (*a*); нажатые все кнопки gAo[3]-gAo[7] (*б*).

Этими кнопками можно воздействовать на схему на выполнение какого-либо действия. Для этого нужно написать программный код, например на языке ST или PRG и добавить выполнение задачи в конфигуратор задач.

Для того чтобы запрограммировать кнопку на лабораторном стенде для начала нужно объявить глобальную переменную в данном случае gK, ее можно создать булевой `gK4: BOOL;`. Далее создаем кнопку на мнемосхеме во вкладке визуализация. На панели визуализации находим и создаем кнопку затем нажимаем на нее 2 раза и открываем ее конфигурацию.

В появившемся окне можно указывать нашу переменную, менять цвет, текст и добавлять рисунок (рисунок 2.21)

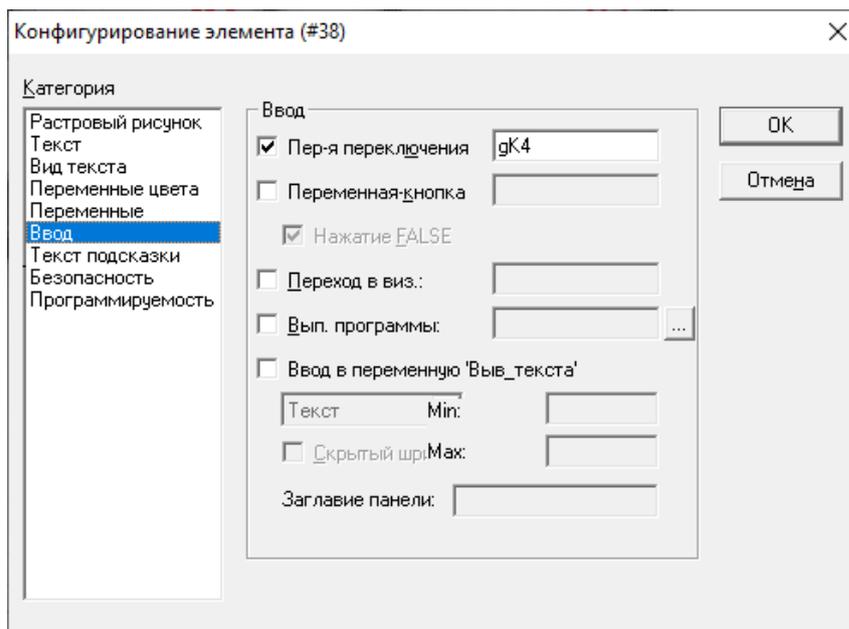


Рисунок 2.21 – Окно конфигурирования элемента

Во вкладке ROU создаем программу, которая при максимальном количестве дискрет будет включаться, при 0 выключаться (рисунок 2.22).

```

0001 PROGRAM switch
0002 VAR
0003 END_VAR
0004
0005 <
0006
0007 IF gK4 THEN
0008     gAo[4] := 1024;
0009 ELSE
0010     gAo[4] := 0;
0011 END_IF
0012

```

Рисунок 2.22 – Код программы switch

Управление проекта осуществляется с помощью задач. Во вкладке “Ресурсы” выбираем “Конфигурация задач”

2.3 Планирование выполнения задач в многопоточной систему программируемого логического контроллера

Задача — это единица обработки МЭК программы. Задача имеет название, приоритет и тип. Тип определяет условие вызова задачи. Условием может служить время (циклическое или свободное выполнение) или событие, внутреннее или внешнее (например, превышение заданного порога глобальной переменной или прерывание в контроллере). Для каждой задачи назначается ряд программ, которые будут в ней выполняться. Если задача выполняется в текущем цикле, это означает, что выполняются включенные в неё программы (по одному циклу каждая). Комбинация приоритетов и условий вызова определяет хронологический порядок выполнения задач. Каждую задачу можно разрешить или запретить независимо от других. Для каждой задачи можно задать сторожевой таймер (контроль времени выполнения). Возможности его использования и настройки определяются целевой платформой.

Во вкладке “Ресурсы” выбираем “Конфигурация задач” Окно Конфигурации зада разделено на 2 части (рисунок 2.23).

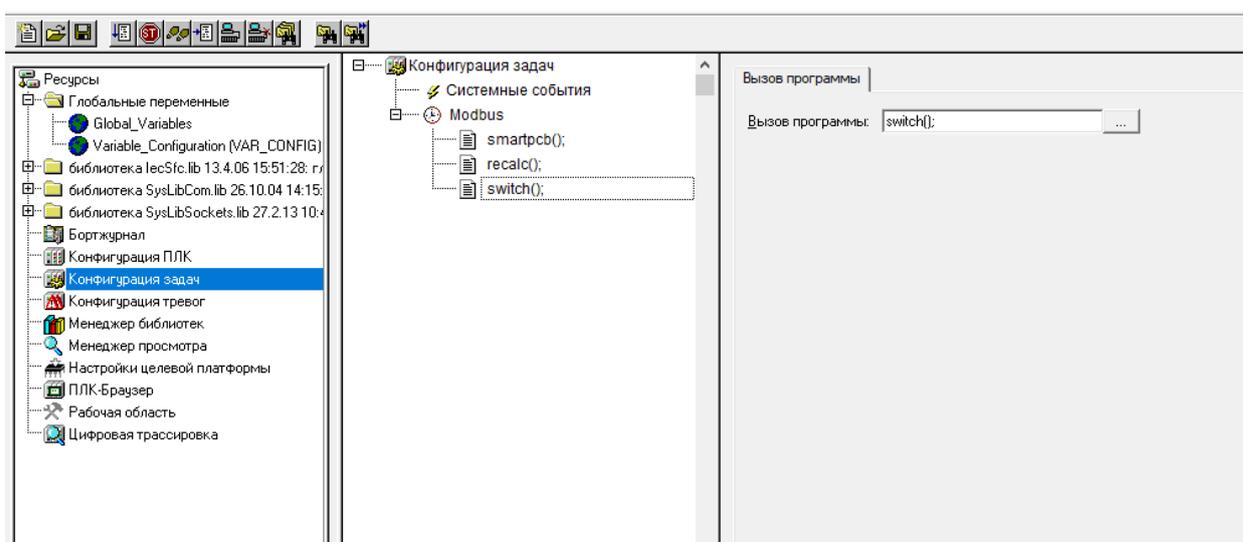


Рисунок 2.23 – Конфигуратор задач

Левая часть окна Task Configuration задачи представлены в древовидной форме. В корне обязательно должен присутствовать элемент

'Task configuration'. Под ним раскрывается список конкретных задач, представленных по именам. Из-под каждой задачи вытекает список включённых программ. Специальной иконкой определяется тип элемента.

В правой части окна показан диалог, соответствующий выбранному элементу в дереве конфигураций. Здесь можно конфигурировать свойства задач (Task properties), вызова программ (Program call), задавать связи с системными событиями (System events) [11].

2.4 Разработка автоматизированного средства для получения переходных процессов

Трассировка позволяет считать и просмотреть конкретные значения переменных за определенный отрезок времени. Числовые значения трассировки записываются в циклический буфер в память контроллера, это происходит в режиме реального времени. При заполнении буфера, информация будет постоянно перезаписываться. При трассировке можно трассировать максимум 20 переменных, а максимальное значение измерения самих переменных не более 500.

Настройка динамического контура может быть осуществлена по известной математической модели или по переходному процессу. Графики переходных процессов можно вывести на экран или на «трейсер». Отличаются они тем, что экран позволяет просто увидеть переходной процесс, а «трэйсер» выдает значения точек кривой переходного процесса в табулированном варианте. В свою очередь, полученный массив данных позволит отдельно построить графики переходных процессов и проанализировать их.

Список переменных трассировки и настройка параметров производится в окне «Конфигурация трассировки», который представлен на рисунке 2.24.

Список трассируемых переменных изначально пуст. Новые переменные добавляется в строке «Ввод переменных трассировки» путем нажатия кнопки «Добавить». Также есть возможность интерактивно выбрать

нужные переменные из списка глобальных переменных путем нажатия на кнопку «Менеджер».

В окне конфигурации достаточно гибко настроить параметры запуска и частоту записи числовых значений переходного процесса. Шаг отсчёта задает частоту записи в миллисекундах. Число отсчёты задает количество измерений переменных.

Рисунок 2.24 – Окно конфигурации трассировки

Результаты трассировки сохраняются в табличном варианте в файл в формате “txt”, который можно открыть и построить таблицу в Microsoft Excel. Для этого нужно нажать «Дополнения→ Запись значений трассировки→ Значения в ASC|| файл» (рисунок 2.25).

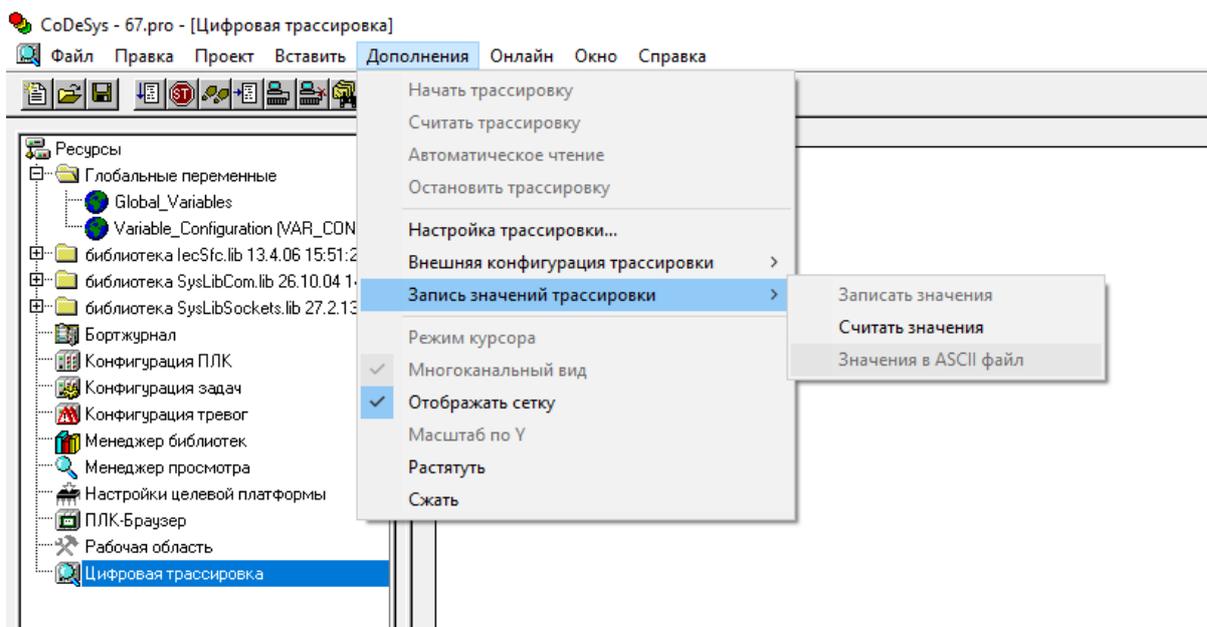


Рисунок 2.25 – Сохранение результатов трассировки

Текстовый документ с результатами трассировки представлен ниже

| Zyklus | ,gAo[0] | ,gTc[2] |
|--------|---------|----------|
| 0 | 12 | 28,62074 |
| 1 | 12 | 28,5893 |
| 2 | 12 | 28,5893 |
| 3 | 12 | 28,58301 |
| 4 | 12 | 28,5893 |
| 5 | 12 | 28,58301 |
| ... | ... | ... |
| 493 | 40 | 35,22111 |
| 494 | 40 | 35,21473 |
| 495 | 40 | 35,22111 |
| 496 | 40 | 35,22111 |
| 497 | 40 | 35,22111 |
| 498 | 40 | 35,22749 |

2.5 Выводы по разделу

- В ходе работы разработан лабораторный стенд приточной вентиляции, работа которого контролируется ПЛК, на основе микроконтроллера STM32f103c8t6. Показана его работоспособность и адекватность переходных процессов переменных состояний системы при том или ином воздействии на компоненты системы (вентилятор, калорифер).

- Разработана методика формирования переменных и элементов панели для визуализации переходных процессов, происходящих в лабораторном стенде и управления ими.
- Помимо этого, получено автоматизированное средство получения переходных процессов, которое опирается на методику трассировки разгонной кривой.
- Реализованное программное обеспечение позволит в дальнейшем произвести типовую процедуру настройки регуляторов переменных состояний, благодаря экспериментально полученной кривой переходного процесса, которая в свою очередь дает возможность определить постоянные времени передаточной функции объекта управления.

УПРАВЛЕНИЯ

Схема лабораторного стенда в разрезе показана на рисунке 2.7. Из ее анализа следует, что чем быстрее вентилятор обдувает калорифер создавая высокую скорость подаваемого воздуха, тем ниже температура воздуха в помещении, то есть зависимость обратная, коэффициент передачи будет отрицательным.

При уменьшении скорости вентилятора, температура калорифера растет, при уменьшение падает, следовательно $k < 0$. Блок схема ПИД – регулятора выбирается исходя из модели объекта управления. Отрицательная обратная связь в регуляторе осуществляется по положению регулирующего органа путем подачи на вход устройства обратной связи сигнала с выхода (рисунок 3.1).

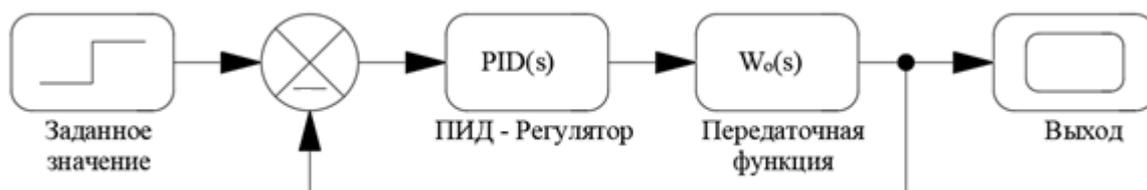


Рисунок 3.1 – Структурная схема лабораторного стенда

Далее рассмотрим типовые методики оптимальной настройки классического ПИД – регулятора.

3.1 Сравнительный анализ существующих методов настройки параметров ПИД - регулятора

Основной задачей в проектировании является выбор алгоритма управления и его настройка для последующего стабильного запуска оборудования.

Существуют разные способы настройки ПИД-регулятора, такие как Метод Циглера-Никольса, методы модульного оптимума, симметричного оптимума и другие. В рамках работы в третьем разделе магистерской

диссертации будем настраивать по модульному оптимуму, но для начала разберемся что из себя представляет ПИД-регулятор

ПИД-регулятор – устройство, с обратной связью, применяемое в автоматических системах управления для поддержания заданного значения параметра (рисунок 3.2). Благодаря своей универсальности они широко применяются в различных технологических процессах.

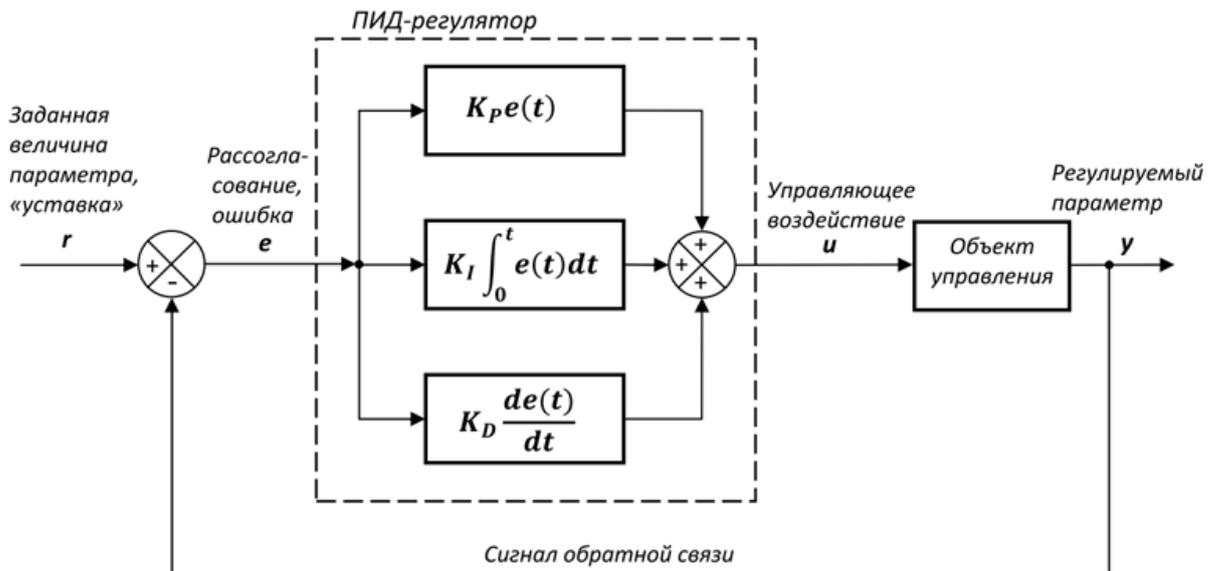


Рисунок 3.2 – Структура ПИД - регулятора

Выходной сигнал ПИД-регулятора определяется по формуле (3.1):

$$W(s) = \frac{y}{x} = \frac{k}{1+T \cdot s} e^{-\tau s} P + I + D = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d de(t) / dt, \quad (3.1)$$

где $u(t)$ – выходной сигнал регулятора; P – пропорциональная составляющая; I – интегрирующая составляющая; D – дифференцирующая составляющая; K_p - пропорциональный коэффициент; K_i — интегральный коэффициент; K_d – дифференциальный коэффициент; $e(t)$ – ошибка рассогласования.

Задача ПИД-регулятора в системах АСУ ТП заключается в поддержании определенного значения параметра технологического процесса на заданном уровне. Иными словами, учитывая показания с датчиков воздействует на объект управления, плавно регулирует значение до состояния уставки. ПИД-регулятор применяют в переходных процессах, где необходима

высокая точность, постоянный контроль и регулирование заданных параметров, при это недопустимы сильные колебания в системе. ПИД регулятора состоит из трех составляющих:

Пропорциональная учитывает величину рассогласования заданного значения и фактического. Чем больше отклонения значения, тем больше будет выходной сигнал, то есть пропорциональная составляющая пытается компенсировать эту разницу.

Интегральная составляющая используется для устранения статической ошибки.

Дифференциальная составляющая учитывает скорость изменения регулируемой величины, противодействуя предполагаемым отклонениям, вызванными возмущениями системы или запаздыванием.

3.1.1 Метод Циглера - Никольса

Данный метод был предложен в 1943 г. Основан на данных, полученных экспериментальным путем с реального объекта. Есть два наиболее известных методов по настройке параметров регулятора.

Первый вариант основан на использовании запасов устойчивости. Алгоритм настройки начинается с экспериментального исследования системы, в которую входят заданный объект регулирования и П-регулятор. Коэффициент передачи k_n П-регулятора увеличивается до тех пор, пока на выходе системы не установятся колебания с постоянной амплитудой колебаний, то есть система не окажется на границе устойчивости. Фиксируется и обозначается через k_n^* значение коэффициента передачи регулятора, при котором система находится на границе устойчивости. Измеряется период T^* установившихся в системе колебаний. Значения параметров регулятора выбранного типа рассчитываются по формулам, приведенным в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Параметры типовых контуров для первого варианта настройки

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

Недостатком этого варианта метода Циглера–Никольса является необходимость выводить систему на границу устойчивости, что для многих объектов управления делать не рекомендуется.

Во втором варианте метода Циглера–Никольса используется реакция объекта на ступенчатое изменение управляющего воздействия. Эту характеристику объекта обычно называют кривой разгона. Объекты управления, имеющие апериодическую кривую разгона, как на рисунке 3.3, представляются в виде последовательного соединения апериодического и запаздывающего звеньев.

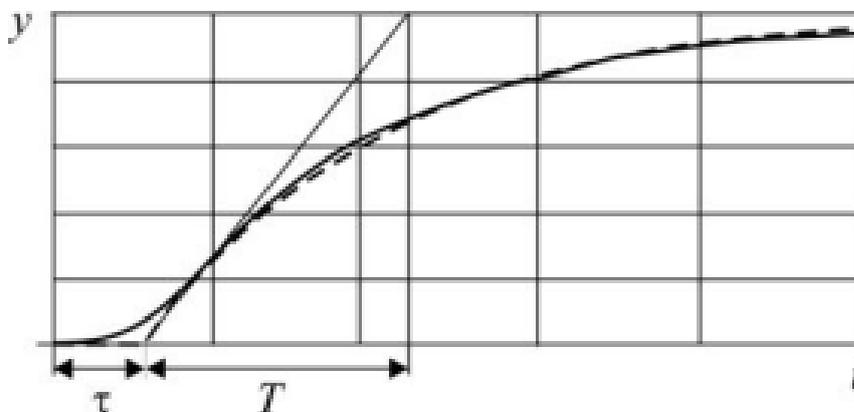


Рисунок 3.3 – Реакция объекта управления на ступенчатое воздействие

В этом случае передаточная функция объекта имеет вид (3.2):

$$W(s) = \frac{y}{x} = \frac{k}{1 + T \cdot s} e^{-\tau s} \quad (3.2)$$

где k – коэффициент передачи, T – постоянная времени, τ – время запаздывания.

Значения параметров регулятора рассчитываются непосредственно по значениям параметров k , T , τ . Формулы для расчёта параметров регулятора приведены в таблице 3.2. Метод дает удовлетворительные результаты, $0,15 < \tau / T < 0,6$.

Таблица 3.2 – Параметры типовых контуров для второго варианта настройки

| | k_n | k_u | k_d |
|---------------|----------------|------------------|------------|
| П-регулятор | $T / k\tau$ | | |
| ПИ-регулятор | $0,9T / k\tau$ | $0,3T / k\tau^2$ | |
| ПИД-регулятор | $1,2T / k\tau$ | $0,6T / k\tau^2$ | $0,6T / k$ |

Параметры регулятора, настроенные по данному методу, не всегда обеспечивают качественный переходный процесс, зачастую необходима дополнительная подстройка параметров. Но несмотря на это некоторые производители регуляторов рекомендуют производить настройку методом Циглера–Никольса [12].

3.1.2 Модульный оптимум

Как правило настройку по модульному оптимуму применяют для многоконтурных систем управления с подчиненным регулированием, когда один из регуляторов вырабатывает задающие воздействия для второго, стоящего во внутреннем контуре. Каждый контур настраивается индивидуально для каждого контура со своими параметрами регулятора (рисунок 3.4).

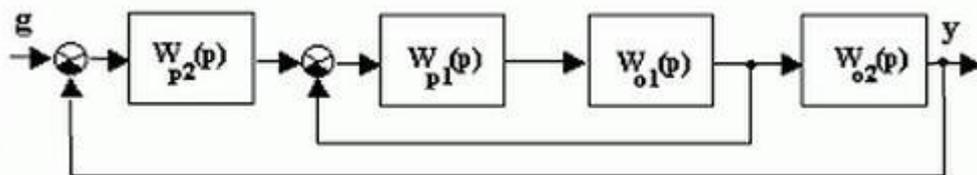


Рисунок 3.4 – Блок схема системы управления

где $W_{p1}(p)$ - стабилизирующий регулятор; $W_{p2}(p)$ - корректирующий регулятор; $W_{o1}(p)$, $W_{o2}(p)$ - передаточные функции объекта управления.

В процессе оптимизации структуру регулятора внутреннего контура как правило выбирают исходя из условия минимального времени регулирования и перерегулирования (рисунок 3.5).

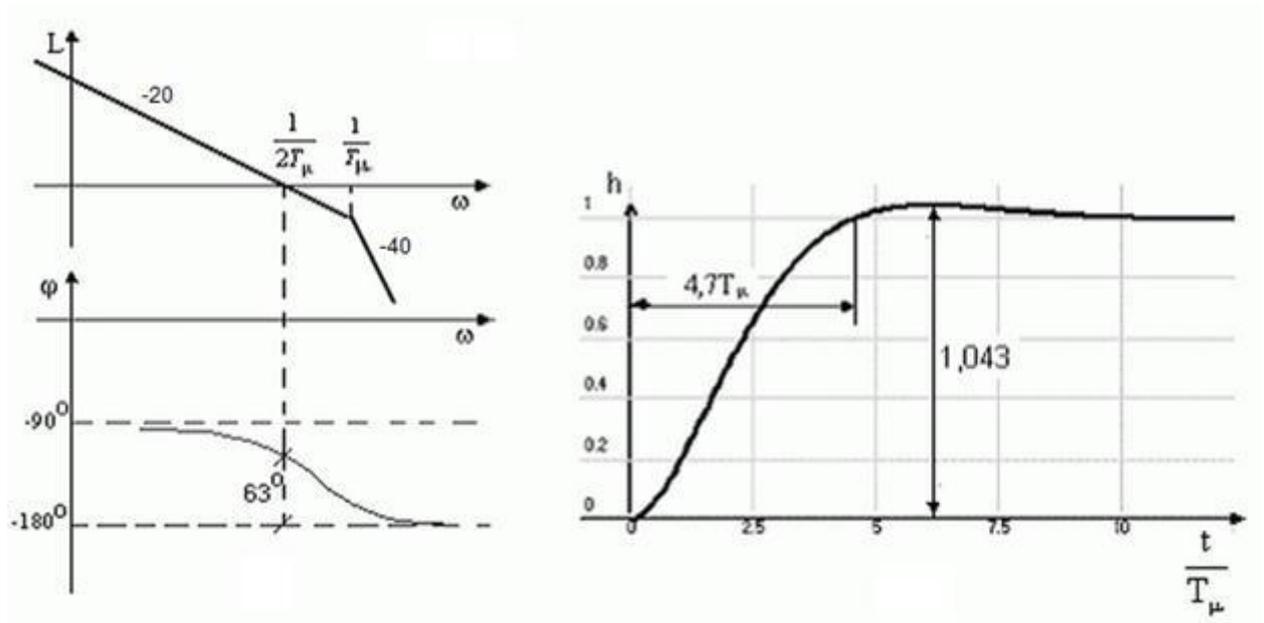


Рисунок 3.5 – ЛАЧХ, ФЧХ при настройке регуляторов на модульный оптимум

Передаточная функция разомкнутого контура при настройке должна иметь следующий вид (3.3):

$$W_{раз}(p) = \frac{1}{(1 + T_\mu \cdot p)q \cdot T_\mu \cdot p} \quad (3.3)$$

где T_μ малая постоянная времени, связанная с временем регулирования, которая должна учитывать все малые постоянные времени настраиваемого контура.

При ступенчатом управляющем воздействии выходная величина в первый раз достигает установившегося значения через время $4,7T_\mu$, перерегулирование составляет 4,3%, а запас по фазе 63° .

3.1.3 Симметричный оптимум

При такой настройке ЛАЧХ желаемой системы имеет астатизм 2-го порядка, время первого достижения выходной величиной установившегося

значения составляет $3,1T_{\mu}$, максимальное перерегулирование достигает 43%, запас по фазе 37° , но при этом в системе переходной процесс с перерегулированием до 40% и выше (рисунок 3.6). Передаточная функция при настройке на симметричный оптимум должна иметь следующий вид (3.4):

$$W_{раз}(p) = \frac{4T_{\mu}p + 1}{8T_{\mu}^2 p^2 (T_{\mu}p + 1)} = W_{oy}(p)W_{pez}(p) \quad (3.4)$$

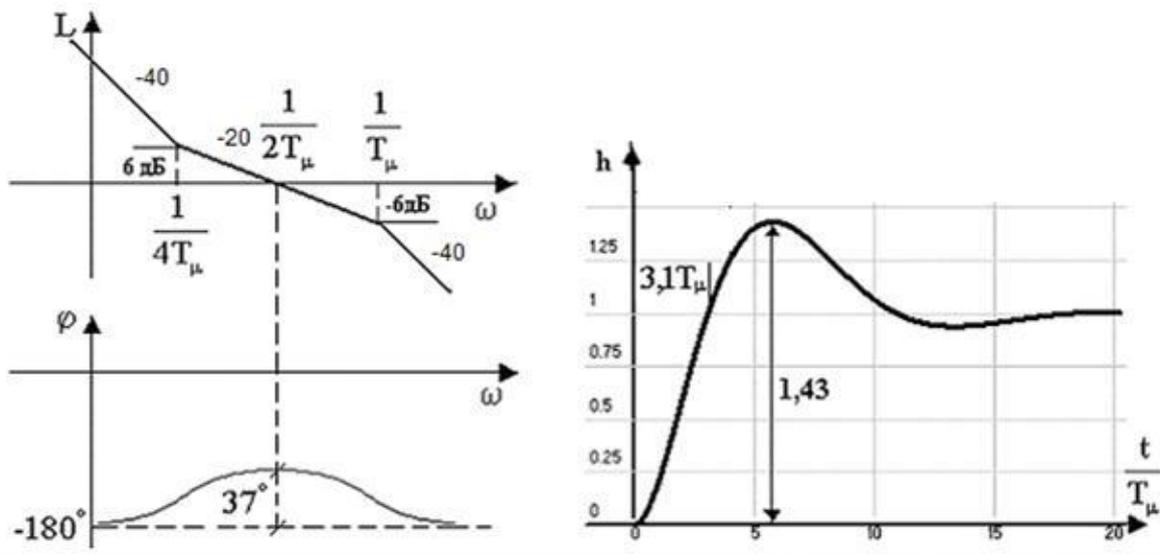


Рисунок 3.6 – ЛАЧХ, ФЧХ при симметричном оптимуме

3.2 Настройки динамического контура температуры калорифера

Из перечисленного обзора методов нахождения параметров ПИД-регулятора был выбран метод настройки по модульному оптимуму, так как самый наглядный метод настройки это по переходному процессу, он позволяет перейти на передаточную функции, где становятся доступны все методы, которые рассматриваются в ТАУ и САУ. Также данный метод является популярным при настройке электропривода, что позволяет с легкостью применить его к данному лабораторному стенду уже имея необходимые знания для этого.

Переходный процесс, полученный при увеличении мощности калорифера и построенный в программе Microsoft Excel в результате трассировки в CoDeSys представлен на рисунке 3.7.

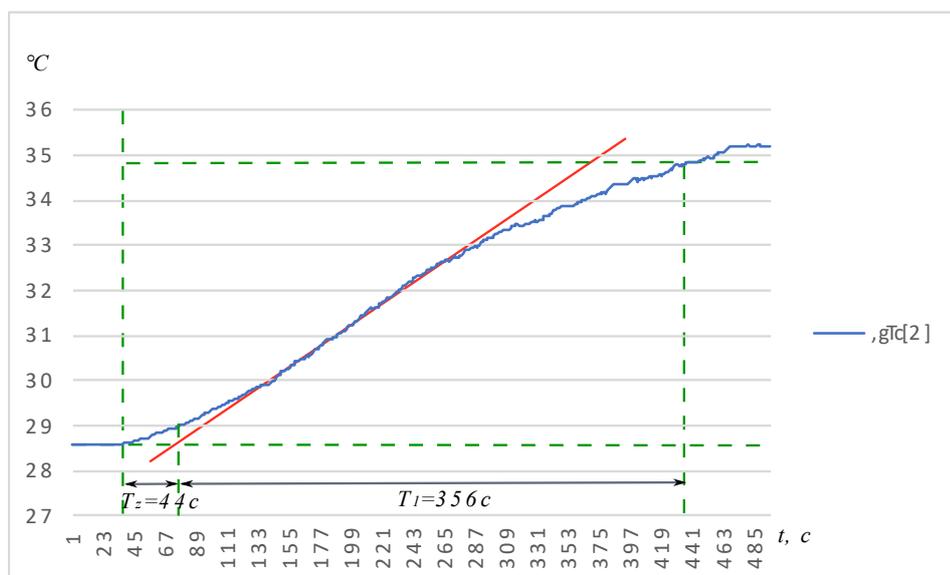


Рисунок 3.7 – Переходная характеристика в контуре вентиляции при увеличении мощности калорифера

Переходный процесс был получен для объекта, его представленная передаточной функцией (3.5) [13]:

$$W_o(s) = \frac{k}{(1 + T_1 \cdot s) \cdot (1 + T_2 \cdot s) \cdot (1 + T_3 \cdot s)}. \quad (3.5)$$

Исходя из анализа рисунка можно вычислить постоянную времени объекта $T_1 = 44c$ и обобщенное время запаздывания $T_Z = 356c$

На основании этих данных можно составить передаточную функцию, которая имеет следующий вид (3.6):

$$W_{mob}(s) = \frac{0,05}{(1 + 120 \cdot s) \cdot (1 + 22 \cdot s)^2}. \quad (3.6)$$

Передаточная функция объекта управления может быть предоставлена в виде (3.7):

$$W_r(s) = \frac{k_r (1 + T_{r1} \cdot s) \cdot (1 + T_{r2} \cdot s)}{s(1 + T_f \cdot s)}. \quad (3.7)$$

Передаточная функция замкнутого контура имеет вид (3.8)

$$W_b(s) = W_o(s) \cdot W_r(s) \Rightarrow \frac{1}{(1 + T_\mu \cdot s) q \cdot T_\mu \cdot s} = \frac{k}{(1 + T_1 \cdot s) \cdot (1 + T_2 \cdot s) \cdot (1 + T_3 \cdot s)} \cdot \frac{k_r (1 + T_{r1} \cdot s) \cdot (1 + T_{r2} \cdot s)}{s(1 + T_f \cdot s)}. \quad (3.8)$$

Произведем сокращения на основании того что $T_{r1} = T_2$, $T_{r2} = T_3$, величиной T_f можно пренебречь, так как T_f выбираем намного меньше чем T_μ как минимум в 10 раз (3.9)

$$\begin{aligned} \frac{1}{(1+T_\mu \cdot s)q \cdot T_\mu \cdot s} &= \frac{k}{(1+T_1 \cdot s) \cdot (1+T_2 \cdot s) \cdot (1+T_3 \cdot s)} \cdot \frac{k_r(1+T_{r1} \cdot s) \cdot (1+T_{r2} \cdot s)}{s(1+T_f \cdot s)} \Rightarrow \\ \frac{1}{(1+T_\mu \cdot s)q \cdot T_\mu \cdot s} &= \frac{k}{(1+T_1 \cdot s) \cdot (1+T_2 \cdot s) \cdot (1+T_3 \cdot s)} \cdot \frac{k_r(1+T_2 \cdot s) \cdot (1+T_3 \cdot s)}{s(1+T_f \cdot s)} \Rightarrow \quad (3.9) \\ \frac{1}{(1+T_\mu \cdot s)q \cdot T_\mu \cdot s} &= \frac{k}{(1+T_1 \cdot s)} \cdot \frac{k_r}{s}. \end{aligned}$$

Для обеспечения коэффициента передачи регулятора необходимо вынести постоянную составляющую регулятора, т.е. чистый коэффициент передачи и приравнять, после чего определим k_r (3.10, 3.11):

$$\frac{1}{(1+T_\mu \cdot s)q \cdot T_\mu \cdot s} = \frac{k}{(1+T_1 \cdot s)} \cdot \frac{k_r}{s}, \quad (3.10)$$

$$\frac{1}{q \cdot T_\mu} = k \cdot k_r \rightarrow k_r = \frac{1}{q \cdot T_\mu \cdot k}. \quad (3.11)$$

Пренебрегая величиной $T_f \ll T_\mu$, $T_{r1} = T_2$, $T_{r2} = T_3$ определим коэффициенты ПИД-регулятора (3.12):

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

$$(T_2 + T_3) \cdot k_r \cdot \left[\frac{1}{s \cdot (T_2 + T_3)} + 1 + \frac{T_2 \cdot T_3 \cdot s}{(T_2 + T_3)} \right]. \quad (3.12)$$

Таким образом получаем:

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

После нахождения коэффициентов, создадим модель ПИД-регулятора в программе SciLab (рисунок 3.8).

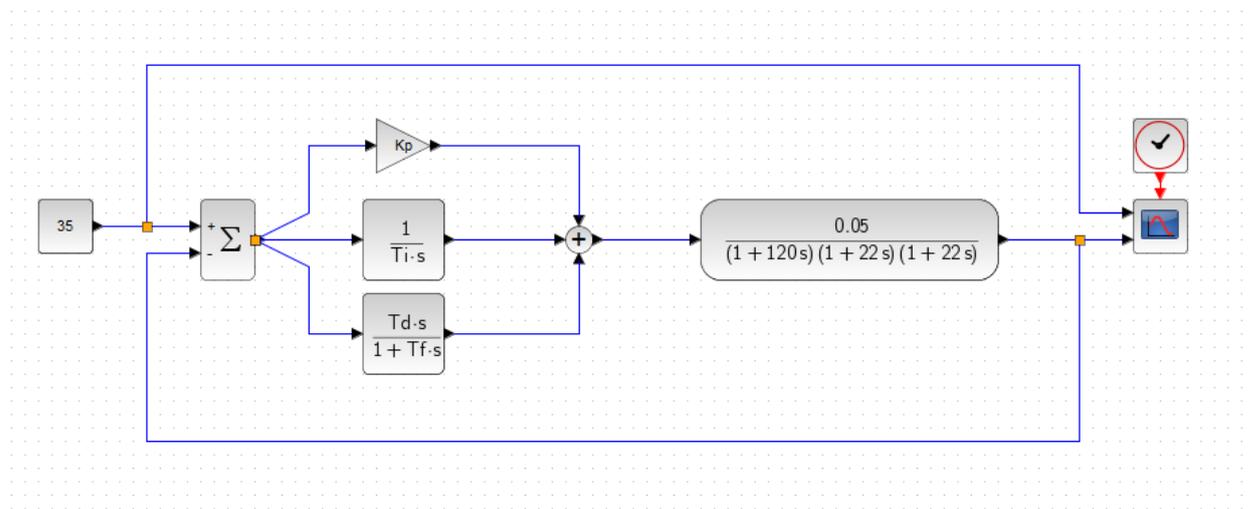


Рисунок 3.8 – Модель ПИД-регулятора в SciLab

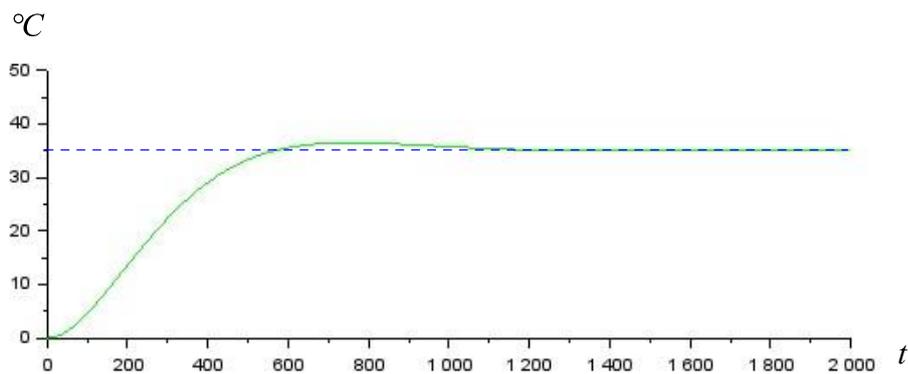


Рисунок 3.9 – Переходный процесс при ПИД-регулировании

Как показано на рисунке 3.9 ПИД-регулятор поддерживает температуру в 35°C. Величина перерегулирования составляет не больше 10%.

Теперь можно переходить к реализации блоков регулятора в CoDeSys и блоков, имитирующих объект управления.

3.3 Реализация замкнутой системы в CoDeSys.

Для начала необходимо создать блоки, которые будут использованы в CoDeSys. Чтобы создать новый блок необходимо в левой части окна программы правой кнопкой мыши вызвать меню и создать новый объект. Появится окно (рисунок 3.10), в котором можно выбрать тип программы и язык, с помощью которого будет написана эта программа.

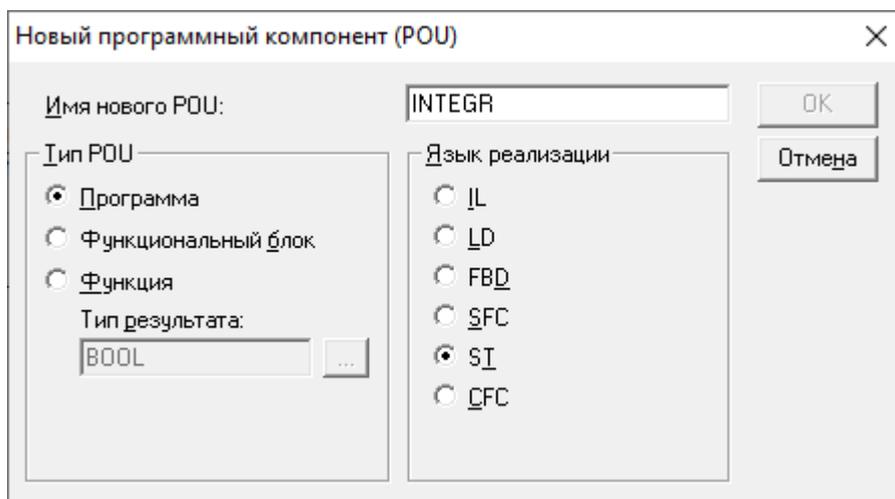


Рисунок 3.10 – Окно создания нового объекта

Для создания нового блока необходимо выбрать в левой части функциональный блок, а в правой части язык программы ST (Structured Text).

После создания функционального блока, необходимо прописать программный код его работы в виде разностного уравнения интегрирующего звена. В процессе создания программного кода, программа спросит какого типа переменные и пропишет в верхней части блока

Для корректной работы функционального блока необходимо правильно указать входные и выходные параметры. К входным переменным «VAR_INPUT» относятся: «X», «T» и « Y_{\min}/Y_{\max} » – Вход, время интегрирования и ограничивающее условие, так как при наличии ошибки интегрирующее звено может упираться в бесконечность и звено в составе

ПИД-регулятора не сможет функционировать. На выходе функционального блока будет «Y» - выходная переменная «VAR_OUTPUT» (рисунок 3.11).

```

0001 FUNCTION_BLOCK INTEGR
0002 VAR_INPUT
0003     X: REAL;
0004     T: REAL;
0005     Ymx: REAL;
0006     Ymn: REAL;
0007 END_VAR
0008 VAR_OUTPUT
0009     Y: REAL;
0010 END_VAR
0011
0001 Y := Y + 0.1 * X / T;
0002 IF Y > Ymx THEN
0003     Y := Ymx;
0004 END_IF
0005 IF Y < Ymn THEN
0006     Y := Ymn;
0007 END_IF
0008

```

Рисунок 3.11 – Иллюстрация функционального блока интегрирующего звена в CoDeSys

Уравнение интегрального составляющего звена имеет вид (3.13):

$$W(p) = \frac{y}{x} = \frac{1}{T \cdot s} \quad (3.13)$$

$$y = y + \frac{\Delta t}{T} \cdot x$$

По аналогии создаем другие необходимые звенья ПИД-регулятора.

Функциональный блок дифференцирующего звена представлен на рисунке 3.12:

```

0001 FUNCTION_BLOCK DIFF
0002 VAR_INPUT
0003     X: REAL;
0004     Td: REAL;
0005     Tf: REAL;
0006 END_VAR
0007 VAR_OUTPUT
0008     Y: REAL;
0009 END_VAR
0010 VAR
0011     X1: REAL;
0012 END_VAR
0013
0001 Y := (Y * Tf + (X - X1) * Td) / (Tf + 0.1);
0002 X1 := X;

```

Рисунок 3.12 – Иллюстрация функционального блока дифференциального звена в CoDeSys

Его передаточная функция (3.14):

$$W(p) = \frac{y}{x} = \frac{T_d \cdot s}{1 + T_f \cdot s} \quad (3.14)$$

$$y + T_f \cdot s \cdot y = T_d \cdot s \cdot x$$

$$y + T_f \cdot \frac{y(t + \Delta t) - y(t)}{\Delta t} = T_d \cdot \frac{x(t) - x(t - \Delta t)}{\Delta t}$$

Разностное уравнение дифференцирующего звена (3.15):

$$y = \left(\frac{T_d}{\Delta t} \cdot (x - x_1) - y \right) \cdot \frac{\Delta t}{T_f} + y \quad (3.15)$$

Пропорциональное звено представлено в виде блока MUL отвечающий за умножение переменных (3.16)

$$y(t) = kx(t) \quad (3.16)$$

Безынерционное звено, в процессы в котором протекают без запаздывания. Его передаточная функция $W(p)=k$

Объединив все блоки, соберём модель ПИД-регулятора (рисунок 3.13).

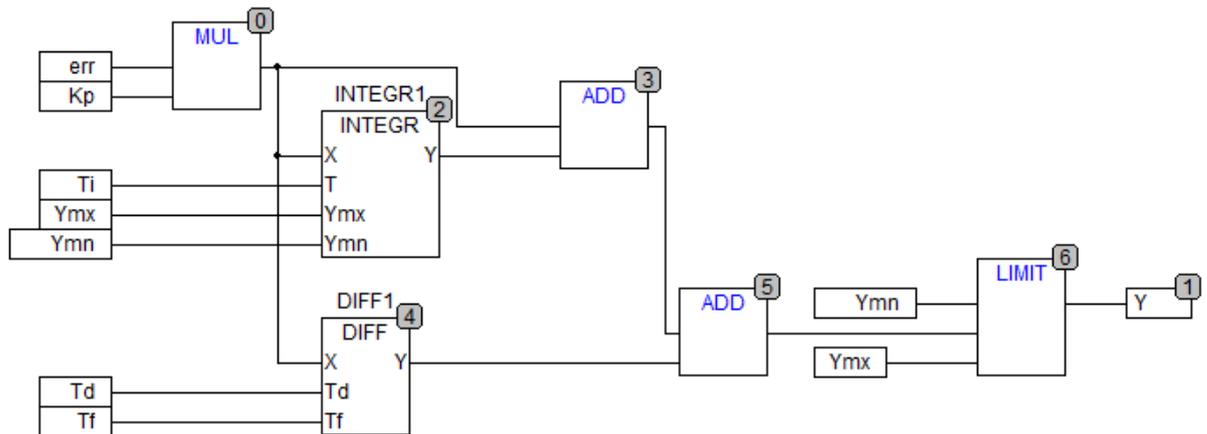


Рисунок 3.13 – Модель ПИД-регулятора

На основе модели ПИД-регулятора реализуем замкнутую систему управления, где в качестве имитационной модели объекта управления реализовано инерционное звено третьего порядка с имеющимися инерционными свойствами.

Объект управления представляет собой инерционное звено третьего порядка (последовательное соединение трех инерционных звеньев) Создаем новый функциональный блок на языке «ST» и прописываем разностное уравнение, выведенное ниже:

Его передаточная функция имеет вид (3.17):

$$W(s) = \frac{y}{x} = \frac{1}{1 + T \cdot s} \quad (3.17)$$

Дифференциальное уравнение в форме Лапласа (3.18):

$$x = y(1 + T \cdot s) \quad (3.18)$$

Дифференциальное уравнение в конечных разностях (3.19):

$$x(t) = y(t) + T \cdot \frac{y(t + \Delta t) - y(t)}{\Delta t} \quad (3.19)$$

Разностное уравнение функционального блока (3.20):

$$y = (x - y) \cdot \frac{\Delta t}{T} + y \quad (3.20)$$

Процесс изменения температуры не является мгновенным, поэтому инерционное звено третьего порядка максимально подходит для имитации инерционности объекта. Программный код показан на рисунке 3.14.

```

0001 FUNCTION_BLOCK INERT
0002 VAR_INPUT
0003   X: REAL;
0004   K: REAL;
0005   T: REAL;
0006 END_VAR
0007 VAR_OUTPUT
0008   Y: REAL;
0009 END_VAR
0010
0001 Y := Y + (K*X - Y)*tds/T;
0002
0003
0004

```

Рисунок 3.14 – Иллюстрация функционального блока инерционного звена в CoDeSys

В конечном итоге представлена имитационная модель объекта (рисунок 3.15), с ее инерционными свойствами. В ней прописаны те параметры объекта, которые необходимо симитировать.

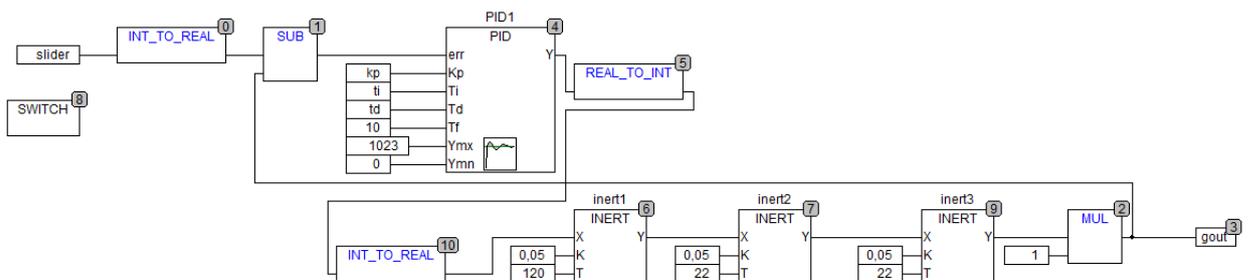


Рисунок 3.15 – Модель замкнутой системы

Для того чтобы подключить регулятор к лабораторному стенду, необходимо удалить инерционную цепочку и подключить выход ПИД-регулятора к глобальной переменной, связанной с температурой рассматриваемого объекта. Переходный процесс на рисунке 3.16 отражает время изменения переходного процесса реального объекта, а именно калорифера

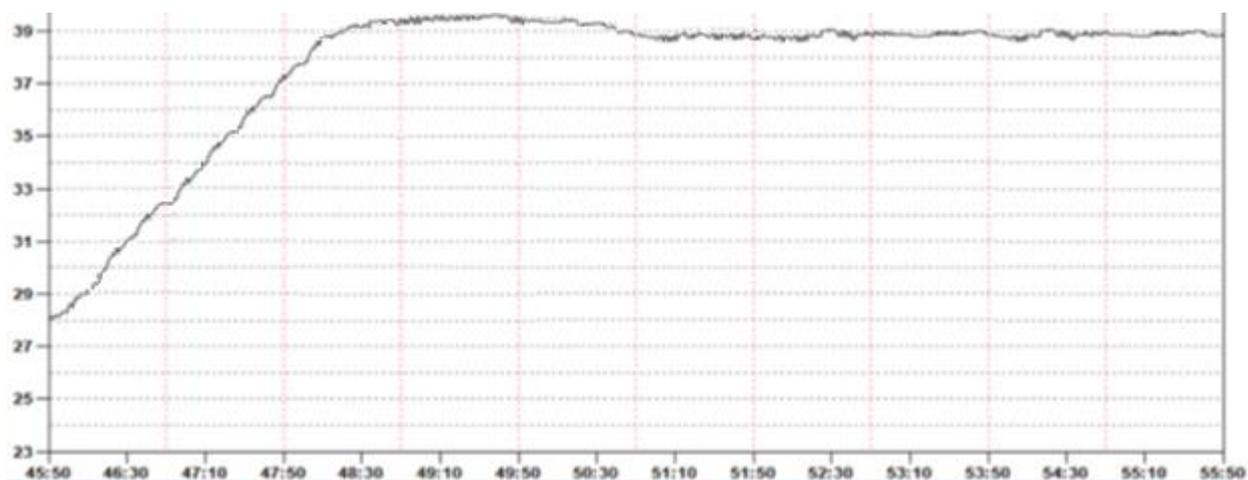


Рисунок 3.16 – Переходный процесс замкнутой системы

Данный переходный процесс отражает изменение температуры при заданном значении 39°C . Можно сделать вывод, что система рабочая и выходит в режимы времени. Система не идеальная, его можно настроить до оптимальных параметров, но в рамках данной системы это не обязательно. На графике видно, что температура принимает установившееся значение примерно через 5 минут.

3.4 Методика настройки динамических контуров лабораторной установки приточной вентиляции

1. Цель работы

Формирование собственной библиотеки функциональных блоков ПИД-регулятора в среде CoDeSys. Нахождение параметров ПИД-регулятора при помощи модульного оптимума. Реализация замкнутой системы регулирования на базе лабораторного стенда. Анализ полученных результатов.

2. Порядок выполнения работы

1. Объектом исследования является лабораторный стенд. В первую очередь нужно ознакомиться с лабораторным стендом, понять зависимость глобальных переменных проекта CoDeSys с реальным объектом, методические указания расписаны во втором разделе дипломной работы.

2. Создать новый проект в CoDeSys. В нем сформировать необходимые функциональные блоки для создания ПИД-регулятора (3 раздел дипломной работы).

3. Реализовать ПИД-регулятор и убедиться в его правильной настройке, при необходимости скорректировать найденные параметры (3 раздел дипломной работы).

4. Создать замкнутую систему реального объекта (3 раздел дипломной работы).

5. С помощью разработанного автоматизированного средства получить опорные точки для построения кривой переходного процесса (2 и 3 раздел дипломной работы).

6. Анализ полученных результатов.

7. Вывод.

3. Ответы на вопросы для самоконтроля

1. Опишите составные части иерархической структуры АСУ ТП.
2. Для чего нужен ПЛК.
3. Какие бывают способы регулирования.
4. Какие существуют различия при синтезе регулятора с помощью модульного оптимума и симметричного.

В результате лабораторной работы были найдены параметры ПИД-регулятора с помощью модульного оптимума, который часто используется в электроприводе, он более стабильный более нагляден, переходный процесс не быстрый, не 0,3 секунды, а 10-15 секунд. При формировании замкнутой системы и снятием переходных характеристик в CoDeSys у студента появляются необходимые компетенции для работы с реальным объектом. Что позволяет сделать шаг и начать работать с более дорогостоящим оборудованием

Эта структура не описывает работу электропривода, но настройка динамического контура по модульному оптимуму позволяет увидеть процесс, поскольку эти процессы проходят в низком темпе, достаточно медленно чтобы

осознать и рассмотреть всю динамику. У студента должны сформироваться компетенции, он должен понять, что каждый динамический объект имеет инерционные свойства, которые можно увидеть через переходный процесс. В данном случае данный переходный процесс можно увидеть, реально ожидая 20-30 секунд, при этом понимая, как он движется и характер его движения.

3.5 Выводы по разделу

- В ходе проведенной работы из анализа методов настройки параметров ПИД-регулятора был выбран метод модульного оптимума.
- В программе SciLab была проверена правильность нахождения параметров ПИД-регулятора, что позволило создать собственную библиотеку функциональных блоков и реализовать ПИД-регулятор в среде CoDeSys.
- При реализации замкнутой системы был получен переходный процесс реального объекта. Полученные результаты помогли создать методологию настройки динамических контуров для реального объекта в виде лабораторной работы.

РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**Введение**

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

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;

осуществить планирование этапов выполнения исследования;

рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;

произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

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 189 вузов со специальностью 13.03.02, занимающиеся обучением студентов по направлению «Электропривод и автоматизация», и более 2000 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.4.1.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования потребителей

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

Результаты сегментирования:

- основными сегментами рынка являются все учебные заведения;
- предприятие по большей части должно быть ориентировано на сегменты рынка, связанные с ВУЗами и учебными классами промышленных предприятий, для изучения всех тонкостей системы управления;
- наиболее привлекательными сегментами рынка являются отрасли, связанные с учебными классами промышленных предприятий и ВУЗов.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в табл. 4.2.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | Конкурентно-способность | |
|---|--------------|-------|---|-------------------------|-------------|
| | | Р | А | Р | А |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 7 |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | |
| 1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,14 | 5 | 3 | 0,7 | 0,42 |
| 2. Качество интеллектуального интерфейса (простота эксплуатации) | 0,24 | 4 | 5 | 0,96 | 1,2 |
| 3. Потребность в ресурсах памяти | 0,07 | 2 | 5 | 0,14 | 0,35 |
| 4. Компактность | 0,1 | 5 | 4 | 0,5 | 0,4 |
| 5. Безопасность | 0,12 | 5 | 4 | 0,6 | 0,48 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | |
| 1. Цена | 0,15 | 5 | 2 | 0,75 | 0,3 |
| 2. Предполагаемый срок эксплуатации | 0,08 | 5 | 4 | 0,4 | 0,32 |
| 3. Наличие сертификата разработки | 0,1 | 2 | 5 | 0,2 | 0,5 |
| Итого | | | | 4,25 | 3,97 |

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

Р – балл показателя нашей разработки;

А – балл показателя конкурента.

Для проведения данного анализа сравнение проводится с действующим лабораторным стендом «Вентиляционные системы»: Учтех – профи, ВЕНТ–017–13ЛР.

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i –го показателя.

4.3 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.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Первый этап SWOT – анализа

| | Сильные стороны научно-исследовательского проекта: | Слабые стороны научно-исследовательского проекта: |
|---|---|--|
| | 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; | 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. |
| Возможности: | | |
| 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. | | |
| Угрозы: | | |
| 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). | | |

Второй этап SWOT-анализа состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица возможностей

| Возможности | Сильные стороны проекта | | | |
|-------------|-------------------------|-----|-----|-----|
| | С1 | С2 | С3 | С4 |
| В1 | - | - | + | - |
| В2 | + | - | + | + |
| В3 | + | + | + | - |
| В4 | + | + | + | + |
| | Слабые стороны проекта | | | |
| | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |
| В1 | - | - | - | - |
| В2 | + | - | - | - |
| В3 | + | - | - | - |
| В4 | - | - | - | - |

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица угроз

| Угрозы | Сильные стороны проекта | | | |
|--------|-------------------------|-----|-----|-----|
| | С1 | С2 | С3 | С4 |
| У1 | + | + | + | + |
| У2 | + | + | + | + |
| У3 | + | + | + | + |
| У4 | + | + | + | + |
| | Слабые стороны проекта | | | |
| | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |
| У1 | - | - | - | - |
| У2 | + | + | - | - |
| У3 | + | - | - | - |
| У4 | + | - | - | - |

Таким образом, в рамках третьего этапа может быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Второй этап SWOT – анализа

| | Сильные стороны научно-исследовательского проекта: | Слабые стороны научно-исследовательского проекта: |
|--|---|--|
| | 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; | 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. |
| Возможности: | | |
| В1. Гибкость системы для проведения различных исследовательских работ; В2. Возможность выезда со стендом на семинар, командировку, произвести качественное обучение, переобучение, повышение квалификации, презентацию; | В1В2В3С1С2С3С4 – Заинтересованность учебных заведений в повышении качества образования; В1В2В3С1С3 – Участие на конференциях, выставках, семинарах; В1В2В3В4С1С3 – Организация промышленного | В2В3В4Сл1Сл4 – Проведение постоянного мониторинга потребителей и анализ действия конкурентов; В2В4С2С4Сл4 – Новая маркетинговая политика; В2В3В4Сл4 – Разработка подробной стратегии продвижения на рынок. |

| | | |
|---|--|--|
| В3. При успешном получении тендера (гранта) расширение производства; В4. Увеличение клиентской базы. | производства модели с улучшенными техническими характеристиками. | |
| Угрозы: | | |
| 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). | У1У2У3У4 – Проведение гибкой ценовой политики и введение системы скидок; У3У4 – Продвижение рекламы и укрепление бренда на рынке. | У3Сл1Сл3Сл4 – Наладка устойчивой обратной связи с клиентами. |

4.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации и выяснение уровня ее завершения приведена в табл.4.7.

Таблица 4.7 – 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 |
| ИТОГО БАЛЛОВ: | | 35 | 39 |

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i,$$

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.

4.5 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.

4.6 Инициализация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. Инициаторы проекта научный руководитель и магистрант. Под заинтересованными сторонами проекта могут быть научно-производственная организация ООО "НПО ВЭСТ" для демонстрации контроллера, на базе которого сделан лабораторный стенд и учебные лаборатории университетов для изучения методов автоматизации системы вентиляции. В таблице 8 представлены потенциальные заказчики проекта, где

НПО ВЭСТ может выступать в качестве партнера между потребителем и представителем лабораторной установки.

Таблица 4.8 – Потенциальные заказчики проекта

| Потенциальные 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. 4.9 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.9 – Цели и результаты проекта

| | |
|--------------------------------------|---|
| Цели проекта: | Разработка лабораторной установки исследования методов управления приводами вентиляции. |
| Ожидаемые результаты проекта: | Исследования динамических процессов в системе вентиляции. |
| Критерии приемки результата 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. 4.10 представлена информация о рабочей группе, роли и функции каждого участника в трудовом проекте.

Таблица 4.10 – Рабочая группа проекта

| № п/п | ФИО, основное место работы, должность | Роль в проекте | Функции | Трудовые затраты, дни. |
|---------------|--|----------------------|---|------------------------|
| 1 | Букреев В. Г. 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 | 9 |
| 2 | Струков Р. И. Исполнитель проекта, студент 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. | 100 |
| ИТОГО: | | | | 109 |

4.7 Планирование управления научно-техническим проектом

План управления научным проектом включает в себя следующие элементы:

4.7.1 Иерархическая структура работ проекта

Детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рис. 4.1 представлен шаблон иерархической структуры работ.

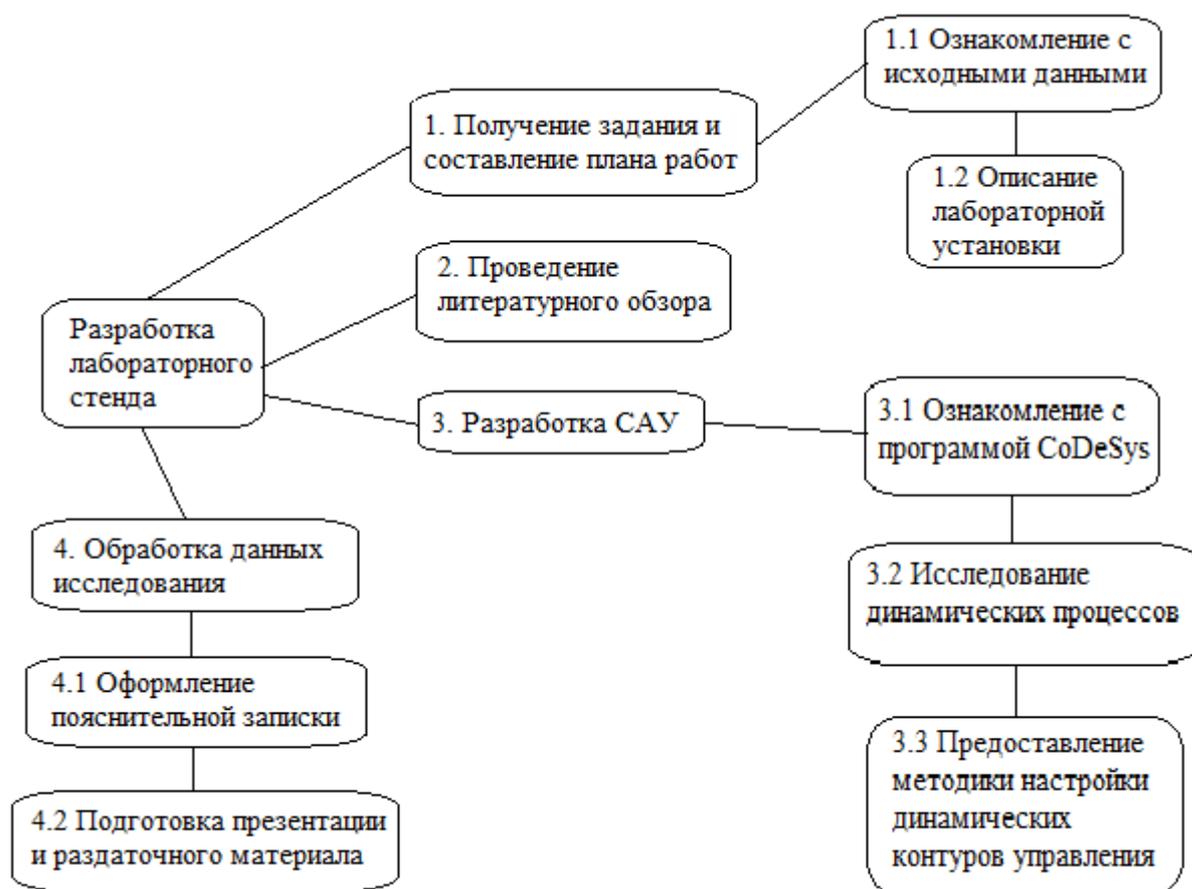


Рисунок 4.1 – Шаблон иерархической структуры работ по проекту

4.7.2 Контрольные события проекта

Определим ключевые события проекта, даты и результаты, которые должны получить по состоянию на эти даты. Эту информацию сведем в таблицу 4.11.

Таблица 4.11 – Контрольные события проекта

| № п/п | Контрольное событие | Дата | Результат (подтверждающий документ) |
|-------|--|------------|---|
| 1 | Выбор направления исследования | 20.11.2021 | Документ в формате Word |
| 2 | Теоретическое исследование | 15.01.2021 | Литературный обзор |
| 3 | Создание проекта | 03.02.2022 | Проект в CoDeSys |
| 4 | Описание лабораторной установки | 10.02.2022 | Документ в формате Word, Проект в CoDeSys |
| 5 | Исследования динамических процессов | 23.02.2022 | Документ в формате Word |
| 6 | Методика настройки динамических контуров | 27.04.2022 | Документ в формате Word |

4.7.3 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. 4.12.

Таблица 4.12 – Календарный план проекта

| Код работы (из ИСР) | Название | Длительность, дни | Дата начала работ | Дата окончания работ | Состав участников |
|---------------------|--|-------------------|-------------------|----------------------|--------------------------------|
| 1 | Составление и утверждение технического задания | 2 | 14.01.2022 | 16.01.2022 | Букреев В. Г. Струков Р. И. |
| 2 | Разработка календарного плана | 2 | 17.01.2022 | 19.01.2022 | Букреев В. Г. Струков Р. И. |
| 3 | Изучение литературы | 10 | 20.01.2022 | 30.01.2022 | Струков Р. И. |
| 4 | Освоение работы программного модуля CoDeSys | 5 | 1.02.2022 | 6.02.2022 | Струков Р. И. |
| 5 | Настройка лабораторного стенда | 2 | 7.02.2022 | 9.02.2022 | Букреев В. Г. Струков Р. И. |
| 6 | Описание работы переменных виртуального ПЛК с лабораторным стендом | 8 | 10.02.2022 | 18.02.2022 | Струков Р. И. |
| 7 | Снятие переходных процессов | 3 | 19.02.2022 | 22.02.2022 | Струков Р. И. |
| 8 | Исследования динамических процессов | 22 | 23.02.2022 | 15.03.2022 | Струков Р. И. |
| 9 | Методика настройки динамических контуров | 42 | 16.03.2022 | 26.04.2022 | Струков Р. И. |
| 10 | Оформление пояснительной записки | 23 | 27.04.2022 | 20.05.2022 | Струков Р. И. |

Продолжительность выполнения проекта составит 119 рабочих дней.

Из них:

- 6 дней – продолжительность выполнения работ руководителем;
- 113 дней – продолжительность выполнения работ инженером.

Для предоставления календарного плана более наглядным образом, используем диаграмму Ганта (табл. 4.13).

Таблица 4.13 – Диаграмма Ганта

| Код работы (из ИСР) | Вид работ | Исполнители | Тк, кален. дни | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--|--------------------------|----------------------|------------------------------------|---|---|---------|---|---|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|
| | | | | Январь | | | Февраль | | | Март | | | Апрель | | | Май | | |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| 1 | Составление и утверждение технического задания | Руководитель, Инженер | 2 2 | | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Разработка календарного плана | Руководитель, Инженер | 2 2 | | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Изучение литературных и патентных источников | Инженер | 10 | | | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Освоение работы программного модуля CoDeSys | Инженер | 5 | | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| 5 | Настройка лабораторного стенда | Руководитель, Инженер | 2 2 | | | | | ■ | | | | | | | | | | |
| 6 | Описание работы переменных виртуального ПЛК с лабораторным стендом | Инженер | 8 | | | | | ■ | | | | | | | | | | |
| 7 | Снятие переходных процессов | Инженер | 2 | | | | | | ■ | | | | | | | | | |
| 8 | Исследования динамических процессов | Инженер | 3 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| 9 | Методика настройки динамических контуров | Инженер | 20 | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | |
| 10 | Оформление пояснительной записки | Инженер | 5 | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |

4.8 Бюджет научного исследования

Расчет стоимости материальных затрат включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стандов, 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 комплектующих в двух исполнениях приводятся в таблицах 4.14-4.16.

Таблица 4.14 – Затраты на комплектующие исполнение 1

| № 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 |
| | | | ИТОГО: | 8 710 |

Таблица 4.15 – Затраты на комплектующие исполнение 2

| № 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 DR-4505 | 1 | 2700 | 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 torneo D18-4 | 4 | 250 | 1000 |
| 7 | Калорифер (резисторы 1 Вт, 150 Ом) | 40 | 8 | 320 |
| 8 | Кулер 80x80x15 | 1 | 680 | 680 |
| 9 | Сервопривод grove | 1 | 700 | 700 |
| 10 | Светодиоды | 5 | 20 | 100 |
| 11 | Переключатели | 5 | 50 | 250 |
| 12 | Гнездо питания | 1 | 150 | 150 |
| 13 | Соединительные провода | | 100 | 100 |
| 14 | Крепежный материал | | 120 | 120 |
| ИТОГО: | | | | 10115 |

Таблица 4.16 – Затраты на оборудование

| № п/п | Наименование оборудования | Кол-во единиц оборудования | Цена единицы оборудования, руб. | Общая стоимость оборудования, руб. |
|---------------|--|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| 1. | 3D принтер | 1 | 50000 | 50000 |
| 2. | Инструменты для сборки | 1 | 2500 | 2500 |
| 3 | ПК | 1 | 25000 | 25000 |
| 4 | Затраты на электричество | 1 | 1 200 | 1 200 |
| 5 | Услуги интернета | 1 | 450 | 450 |
| 6 | Средства для пайки (паяльник, канифоль, олово) | 1 | 3000 | 3000 |
| ИТОГО: | | | | 82150 |

Рассчитаем расходы, связанные с заготовкой и доставкой для исполнения 1:

$$Z_M = M \cdot \gamma = (8710 + 82150) \cdot 1,15 = 104485 \text{ руб.}$$

где M – материальные затраты;

γ коэффициент ТЗР, равный 15%.

Рассчитаем расходы, связанные с заготовкой и доставкой для исполнения 2:

$$Z_M = M \cdot \gamma = (10115 + 82150) \cdot 1,15 = 106104,75 \text{ руб.}$$

где M – материальные затраты;

γ коэффициент ТЗР, равный 15%.

Представим расчет оплаты труда исполнителей. Основная заработная плата научных и инженерных работников, непосредственно вовлеченных в выполнение работ по этому предмету проектирования, определяется на основе трудоемкости выполняемой работы и существующей системы окладов и тарифных ставок. Статья включает в себя основную заработную плату сотрудников, непосредственно занимающихся проектированием и дополнительной заработной платы:

$$C_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп};$$

где:

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

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб};$$

где:

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

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D},$$

где:

Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

F_D – действительный годовой фонд рабочего времени научно-

технического персонала, раб.дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{нр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}},$$

где:

$Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{нр}}$ – премиальный коэффициент;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент.

Определим месячный должностной оклад инженера:

$$Z_{M(\text{инж.})} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{нр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 17000 \cdot 1,3 = 22100 \text{ руб.}$$

Далее произведем расчет среднедневной заработной платы для инженера:

$$Z_{\text{дн}}(\text{инж.}) = \frac{Z_M \cdot M}{F_D} = \frac{22100 \cdot 10,4}{243} = 945,84 \text{ руб.}$$

Рассчитаем основную заработную плату инженера:

$$Z_{\text{осн}}(\text{инж.}) = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} = 945,84 \cdot 100 = 94584,36 \text{ руб.}$$

Аналогично произведем расчет для руководителя проекта.

Месячный должностной оклад руководителя проекта

$$Z_{M(\text{рук.пр.})} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{нр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 26300 \cdot 1,3 = 34190 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата руководителя проекта:

$$Z_{\text{дн}}(\text{рук.пр.}) = \frac{Z_M \cdot M}{F_D} = \frac{34190 \cdot 10,4}{243} = 1463,28 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата руководителя проекта:

$$Z_{осн}(рук.пр.) = Z_{дн} \cdot T_{раб} = 1463,28 \cdot 9 = 13169,52 \text{ руб.}$$

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн};$$

где:

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

$$Z_{доп}(инж.) = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 94584,36 = 14187,65 \text{ руб.};$$

$$Z_{доп}(рук.пр.) = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 13169,52 = 1975,43 \text{ руб.};$$

$$C_{зн}(инж.) = 94584,36 + 14187,65 = 108772 \text{ руб.};$$

$$C_{зн}(рук.пр.) = 13169,52 + 1975,43 = 15144,95 \text{ руб.}$$

Приведем расчет величины отчислений во внебюджетные фонды по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп});$$

где:

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

$$Z_{внеб}(рук.пр.) = 0,302 \cdot 15144,95 = 4573,78 \text{ руб.}$$

$$Z_{внеб}(инж.) = 0,302 \cdot 108772 = 32849,14 \text{ руб.}$$

Расчет амортизационных отчислений для полного восстановления основных фондов производили по нормам амортизации, утвержденным в порядке, установленном действующим законодательством, и определили в зависимости от стоимости оборудования. Для проектирования первого

исполнения требуется следующее оборудование на сумму– 104485 рублей, для второго 106104,75.

$$I_{ам} = \frac{T_{ис}}{T_{Г}} \cdot \frac{1}{T_{сл}} \cdot C_{обор};$$

где:

- $T_{ис}$ – время использования оборудования = 81 дней;
- $T_{Г}$ – количество использования в год = 365 дней;
- $C_{обор}$ – стоимость оборудования;
- $T_{сл}$ – срок службы оборудования = 3 года.

Для исполнения 1:

$$I_{ам} = \frac{T_{ис}}{T_{Г}} \cdot \frac{1}{T_{сл}} \cdot C_{обор} = \frac{81}{365} \cdot \frac{1}{3} \cdot 104485 = 7729 \text{ руб.}$$

Для исполнения 2:

$$I_{ам} = \frac{T_{ис}}{T_{Г}} \cdot \frac{1}{T_{сл}} \cdot C_{обор} = \frac{81}{365} \cdot \frac{1}{3} \cdot 106104,75 = 7848,84 \text{ руб.}$$

Накладные расходы учитывают другие расходы организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печатные и фотокопировальные исследовательские материалы, оплату услуг связи, электричество, почтовые и телеграфные расходы, воспроизведение материалов и т. д. Их стоимость определяется следующей формуле:

$$Z_{накл} = (Z_{осн} + Z_{дон}) \cdot k_{нр};$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{накл} = (108772 + 15144,95) \cdot 0,16 = 19826,712 \text{ руб.}$$

Представим бюджет проекта по каждому варианту исполнения в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Бюджет затрат

| | Исполнение 1 | Исполнение 2 |
|--|--------------|--------------|
| Наименование статьи | руб. | руб. |
| Материальные затраты НТИ и затраты на оборудование | 104485 | 106104,75 |
| Затраты на заработную плату исполнителей темы | 123916,95 | 123916,95 |
| Отчисления во внебюджетные фонды | 37422,92 | 37422,92 |
| Амортизационные отчисления | 7729 | 7848,84 |
| Накладные расходы | 19826,712 | 19826,712 |
| Итого | 293380.582 | 295180.72 |

$K_{ам}$ – амортизация компьютерной техники;

$K_{з/пл}$ – затраты на заработную плату;

$K_{с.о.}$ – затраты на социальные нужды;

$K_{пр}$ – прочие затраты;

$K_{накл}$ – накладные затраты.

4.9 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. В таблице 4.18 представлен реестр рисков.

Таблица 4.18 – Реестр рисков

| № | Риск | Потенциальное воздействие | Вероятность наступления | Влияние риска | Уровень риска* | Способы смягчения риска | Условия наступления |
|----|---|---|-------------------------|---------------|----------------|--|---|
| 1. | Низкое качество сборки | Снижение спроса на технологию, снижение эффективности | 2 | 4 | Низкий | Повышение требований к персоналу и тщательный контроль | Низкая квалификация персонала |
| 2. | Отсутствие финансовой поддержки проекта | Заморозка проекта | 3 | 1 | Высокий | Поиск инвесторов | Отсутствие инвесторов |
| 3. | Прекращение поставок необходимых комплектующих | Заморозка проекта | 2 | 1 | Высокий | Замена комплектующих на возможные аналоги | Отсутствие подходящих аналогов |
| 4. | Блокировка лицензионного программного обеспечения | Заморозка проекта | 2 | 1 | Высокий | Использование нелицензионного ПО, поиск аналогов | Нарушение пользовательского соглашения, отсутствие финансовых |

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|---|
| | | | | | | | средств для приобрете ния программ ного обеспечен ия |
|--|--|--|--|--|--|--|---|

4.10 Оценка сравнительной эффективности исследования

Представим расчет сравнительной эффективности исследования. Для этого обратимся к расчету финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

где I_{ϕ}^p – интегральный показатель разработки;

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

Φ_{\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 8710 руб. Итоговая стоимость данного варианта исполнения составляет 293380.582, включая бюджет затрат НТИ.

Стоимость комплектующих варианта исполнения аналога равна 10 015 руб. Итоговая стоимость данного варианта исполнения составляет 295180.72, включая бюджет затрат НТИ

$$I_{\phi 1}^p = \frac{\Phi p 1}{\Phi_{\max}} = \frac{293380.582}{295180.72} = 0,993,$$

$$I_{\phi 2}^p = \frac{\Phi p 2}{\Phi_{\max}} = \frac{295180.72}{295180.72} = 1,$$

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. 4.20:

1. Удобство в эксплуатации;
2. Качество интеллектуального интерфейса;
3. Безопасность;
4. Экономичность;
5. Компактность.

Таблица 4.20 – Критерии ресурсоэффективности и их характеристики

| Критерии | Весовой коэффициент | Балльная оценка разработки | Балльная оценка аналога 1 |
|---|---------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1.Удобство в эксплуатации | 0,2 | 5 | 4 |
| 2.Качество интеллектуального интерфейса | 0,25 | 4 | 5 |
| 3.Безопасность | 0,15 | 5 | 4 |
| 4.Экономичность | 0,15 | 5 | 4 |
| 5.Компактность | 0,25 | 5 | 3 |
| Итого: | 1,00 | 4,8 | 4 |

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

$$I_{финр1}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi1}^p} = \frac{4,8}{0,933} = 5,14,$$

$$I_{финр2}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi2}^p} = \frac{4}{1} = 4,$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$Эср = \frac{I_{финр1}^p}{I_{финр2}^a} = \frac{5,14}{4} = 1,286,$$

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. 4.20.

Таблица 4.20 – Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели | Разработка | Аналог |
|-------|---|------------|--------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки | 0,993 | 1 |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,8 | 4 |
| 3 | Интегральный показатель эффективности | 5,14 | 4 |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения | 1 | 0,7 |

4.11 Выводы по разделу:

В результате сравнения и оценки критериев двух лабораторных стендов, в результате проделанной работы была выбрана первая разработка, так как она обладает оптимальными техническими показателями при выгодной стоимости проекта. Были составлены графики проведения НТИ, определено количество работников, рассчитаны затраты. На проведение работ затрачено 188895,582 руб., на приобретение оборудования и комплектующих 104485 руб. Работы были проведены за 109 рабочих дней бригадой из двух человек. На основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования, а

также по итогам сравнения финансовой и ресурсной эффективности наиболее эффективной получается наша разработка.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Цель работы заключается в том что на примере лабораторного стенда, были разработаны и исследованы методы изучения автоматике недорогими средствами на базе программного модуля CoDeSuS и чтобы студенты не имея опыта работы с ПЛК могли получить навыки с реальным объектом управления не боясь испортить дорогое оборудование на производстве стоимостью более 80 тысяч рублей, так как обучение на технологическом объекте происходит под присмотром старшего работника, который делится опытом весьма долгое время. Такие стенды можно использовать в технических колледжах и ВУЗах, а также в лабораториях и учебных классах промышленных предприятий. 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.

В качестве рабочей зоны может быть использована учебная лаборатория размером около 35 м². 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). Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне, где есть естественная вентиляция, освещение смешанное, ПК и рабочий стол оператора.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Требования по организации и оборудованию рабочих мест в лабораторных помещениях [14]:

Кресло человека-оператора должно быть установлено согласно эргономическим требованиям к креслу человека-оператора, а также его типы и основные конструктивные параметры кресел согласно ГОСТ 21889-76.

Помещение лаборатории должно 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.

Взаимное расположение элементов рабочего места должно обеспечивать возможность осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования. При этом должны учитываться ограничения, налагаемые спецодеждой и снаряжением человека-оператора согласно ГОСТ 22269-76.

Конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы согласно ГОСТ 12.2.032-78.

Микроклимат в лабораторных помещениях должен соответствовать требованиям, предусмотренным СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

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.

ТК РФ Статья 212. Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда [15].

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

Согласно [Федеральный закон "Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний" от 24.07.1998 N 125ФЗ], работник имеет право на обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

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. 5.1) [16, 17].

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

| Факторы (ГОСТ 12.0.003–2015) | Нормативные документы |
|---|---|
| Превышение уровня шума | ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация. |
| Недостаточная освещенность рабочей зоны | СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. ГОСТ Р 55710–2013. Освещение рабочих мест внутри зданий |

| | |
|-------------------------------------|---|
| Отклонение показателей микроклимата | ГОСТ 12.1.005–88 ССБТ. Общие санитарно–гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха СНиП 41-01-2003 (с Поправкой) |
| 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 IEC TR 61340–5–2–2021. Электростатика. Защита электронных устройств от электростатических явлений. ГОСТ IEC 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. |

5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов:

5.3.1 Превышение уровня шума

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, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, 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 5.2 [18].

Таблица табл. 5.2 – 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.

5.3.2 Расчет системы искусственного освещения

Для всех лаборатории и учебные классов 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/м². Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель.

Проектирование искусственного освещения осуществляется в соответствии с действующими строительными нормами и правилами СНиП

[19], 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 $\Phi_{\text{л}} = 2300 \text{ лм}$; 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: $\eta_H = 0,5$; коэффициент запаса $\kappa_3 = 1,5$; коэффициент неравномерности $Z = 1,1$.

Световой поток всех источников света:

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

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

$$n_{св} = \frac{\Phi}{2 \cdot \Phi_{л}} = \frac{35640}{2 \cdot 2300} = 8 \text{ шт.}$$

Принимаем к установке восемь светильников, в каждом ряду по четыре, схема показана на рис. 1.

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.

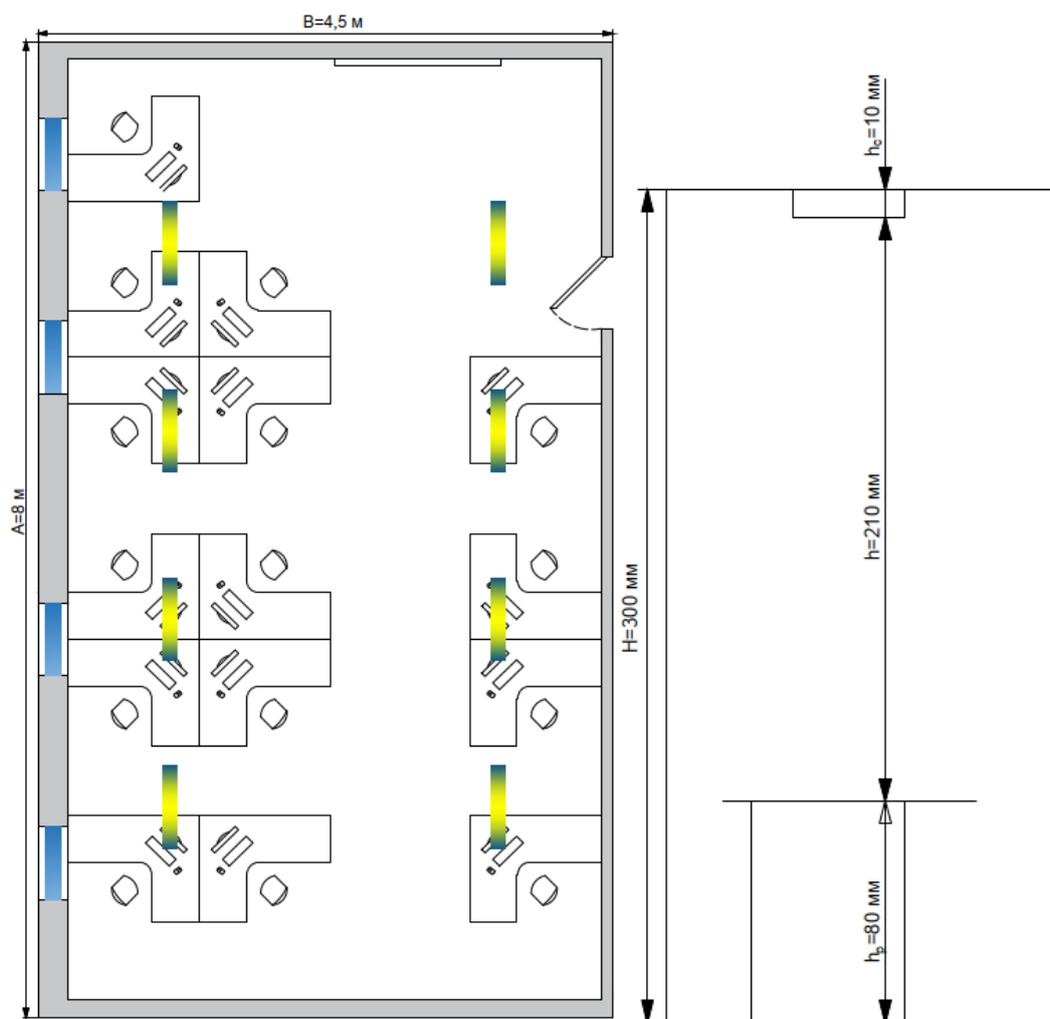


Рисунок 5.1 – Схема размещения светильников в помещении для люминесцентных ламп

5.3.3 Отклонение показателей микроклимата

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 [20].

Значения перечисленных параметров непосредственно к проектируемому участку с категорией по тяжести Ia приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – 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.

5.3.4 Методика и порядок расчета воздухообмена для очистки

воздуха

Потребный воздухообмен определяется по формуле:

$$L = \frac{1000 \cdot G}{x_g - x_n}, \text{ м}^3 / \text{ч}$$

где $L, \text{ м}^3 / \text{ч}$ – потребный воздухообмен; $G, \text{ г/ч}$ – количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения; $x_g, \text{ мг} / \text{ м}^3$ – предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения, согласно ГОСТ 12.1.005-88; $x_n, \text{ мг} / \text{ м}^3$ – максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест по СанПиН 1.2.3685-21.

Применяется также понятие кратности воздухообмена n , которая показывает, сколько раз в течение одного часа воздух полностью сменяется в помещении. Кратность воздухообмена определяется по формуле:

$$n = L / V, \text{ ч}^{-1}$$

где V – внутренний объем помещения, м^3 . Согласно СП 2.2.3670-20, кратность воздухообмена $n > 10$ недопустима.

1. Определение воздухообмена при испарении растворителей и лаков.

Испарение растворителей и лаков обычно происходит при покраске различных изделий. Количество летучих растворителей, выделяющихся в воздухе помещений можно определить по следующей формуле:

$$G = a \cdot A \cdot t \cdot n / 100, \text{ г} / \text{ч}$$

где $a, \text{ м}^2 / \text{ч}$ – средняя производительность по покраске одного рабочего (при ручной покраске кистью – $12 \text{ м}^2 / \text{ч}$, пульверизатором – $50 \text{ м}^2 / \text{ч}$); $A, \text{ м}^2 / \text{ч}$ – расход лакокрасочных материалов; $t, \%$ – процент летучих растворителей,

содержащихся в лакокрасочных материалах; n – число рабочих, одновременно занятых на покраске.

Расчет будем проводить для варианта с окраской с распылением, при этом работали двое рабочих ($a = 180 \text{ м}^2 / \text{ч}$, $m = 75\%$)

Фактическое содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны:

$$G = 50 \cdot 180 \cdot 75 \cdot 2 / 100 = 13500 \text{ г} / \text{ч}$$

Находим для ацетона что $x_g = 200 \text{ мг} / \text{м}^3$, $x_n = 0,35 \text{ мг} / \text{м}^3$, тогда

Тогда потребный воздухообмен:

$$L = \frac{1000 \cdot 13500}{200 - 0,35} = 67500 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

2. Определение воздухообмена в жилых и общественных помещениях.

В жилых и общественных помещениях постоянным вредным выделением является выдыхаемый людьми углекислый газ (CO_2). Определение потребного воздухообмена производится по количеству углекислого газа, выделяемого человеком и по допустимой концентрации его.

Содержание углекислоты в атмосфере населенных пунктов следует принимать: для сельских населенных пунктов – $650 \text{ мг} / \text{м}^3$, для малых городов (до 300 тыс. жителей) – $800 \text{ мг} / \text{м}^3$, для больших городов (свыше 300 тыс. жителей) – $1000 \text{ мг} / \text{м}^3$. ПДК CO_2 в воздухе рабочей зоны – $9000 \text{ мг} / \text{м}^3$.

Количество CO_2 , выделяемой одним человеком $g = 23 \text{ л} / \text{ч}$, тогда $x_g = 1 \text{ л} / \text{м}^3$ и содержание CO_2 в наружном воздухе для больших городов $x_n = 0,5 \text{ л} / \text{м}^3$.

Потребный воздухообмен:

$$L = \frac{23 \cdot 3}{1 - 0,5} = 138 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

5.3.5 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.

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.

5.3.6 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 5 Гц – 2 кГц 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.

Также необходимо соблюдать оптимальный режим труда и отдыха.

При правильной организации рабочего места 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.

5.3.7 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.

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.

5.3.8 Вибрация

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.

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.

5.4 Экологическая безопасность при эксплуатации

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.

5.5 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 [23]:

- 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 м³.

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.

5.6 Вывод по разделу

В разделе 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.

На основании чего на предприятии могут быть приняты решения по исключению вышеперечисленных проблем, путем внедрения необходимой аппаратуры в соответствии с проблемой, оптимизирована работа персонала и

установок, введена необходимая защита. Также, в работе были предложены меры по защите окружающей среды, предотвращению пожаров.

Фактические значения показателей уровня шума на рабочем месте соответствуют нормативным значениям 50 дБА указанных в [ГОСТ 12.1.003–2014] [18].

Фактическое значения показателя освещенности рабочей зоны оказалось в допустимых пределах 300 – 500 лк, согласно [ГОСТ Р 55710 – 2013], и не требуют мероприятий по улучшению.

Исходя из всего вышеописанного и, в соответствии с [Правила устройства электроустановок (ПУЭ)], можно заключить, что данное производственное помещение можно отнести ко второй категории помещений по электробезопасности [24].

В соответствии с [Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н "Об утверждении правил по охране труда при эксплуатации электроустановок"], для того, чтоб проводить работы с рассматриваемой в данной работе установкой, персонал должен иметь группу по электробезопасности не ниже 3ей [25].

В соответствии с [СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"], категория тяжести труда определяется как вторая [26].

В соответствии с [СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»], рассматриваемое помещение по критерию взрывопожарной и пожарной опасности можно отнести к категории Г – умеренная пожароопасность [27]

В соответствии с [Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 N 2398 (ред. от 07.10.2021) "Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II,

III и IV категорий"], рассматриваемый объект можно отнести ко второй категории объектов, оказывающих умеренное негативное воздействие на окружающую среду [28].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель выпускной квалификационной работы заключается в том, что на примере лабораторного стенда, были разработаны и исследованы методы изучения автоматики недорогими средствами на базе программного модуля CoDeSys, приведены исследования методов управления электроприводами системы вентиляции.

Приведен сравнительный анализ ПЛК контроллеров, из которого ПЛК контроллер на базе процессора STM32F103C8T6 является самым оптимальным решением.

Предоставлено описание лабораторного стенда представлены основные инструменты при работе с ПЛК, показана зависимость глобальных переменных с физическими величинами в CoDeSys

По полученной трассировке системы были определены динамические характеристики и получены коэффициенты ПИД-регулятора по модульному оптимуму и построена замкнутая система реального объекта.

В рамках работы была предоставлена методика настройки динамических контуров на примере лабораторного стенда приточной вентиляции, благодаря которой возможно осуществлять обучение специалистов.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были отражены слабые и сильные стороны проекта, расчет затрат на проектирование и дальнейшие пути развития проекта.

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны, произведен анализ вредных и опасных факторов, изучены вопросы охраны окружающей среды, техники безопасности, защиты в чрезвычайных ситуациях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога. – М.: ДодекаXXI, 2002.
2. ГОСТ Р 51840-2001 (МЭК 61131-1- 92) Программируемые контроллеры. Общие положения и функциональные характеристики.
3. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования /Под ред. проф. В.П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004.
4. ПКЛ: дискретные входы/ выходы [Электронный ресурс] <https://www.compel.ru/lib/96415> (дата обращения 12.05.2022).
5. Интерфейсы связи, используемые в программируемых логических контроллерах. [Электронный ресурс] https://studme.org/176964/tehnika/interfeysy_svyazi_ispolzuemye_programmiruemyh_logicheskikh_kontrollerah (дата обращения 15.05.2022).
6. Wi-Fi модуль ESP-01. [Электронный ресурс] <https://robotchip.ru/obzor-modulya-esp-01-na-chipe-esp8266> (дата обращения 12.05.2022).
7. Модули Bluetooth HC-05/06. [Электронный ресурс] <https://voltiq.ru/arduino-and-hc-05-hc-06> (дата обращения 12.05.2022).
8. Контроллеры программируемые Часть 3 Языки программирования ГОСТ Р МЭК 61131- 3- 2016 [Электронный ресурс]. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293755/4293755016.pdf> (дата обращения 3.04.2022)
9. 5 языков программирования стандарта МЭК 6-1131/3 [Электронный ресурс]. <http://www.adastra.ru/products/overview/IEC61131/> (дата обращения 3.04.2022)
10. Что такое мнемосхема, назначение, виды, принципы создания, обозначения на схемах [Электронный ресурс]. <http://electricalschool.info/automation/1752-что-такое-mnemoskhema.html> (дата обращения 4.04.2022)

11. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3 [Электронный ресурс].https://owen.ru/product/codesys_v2 (дата обращения 10.04.2022)

12. НАСТРОЙКА ТИПОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ПО МЕТОДУ ЦИГЛЕРА–НИКОЛЬСА Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов, обучающихся по направлениям 210100 «Электроника и нанoeлектроника» и 201000 «Биотехнические системы и технологии» Составитель О.С. Вадутов Издательство Томского политехнического университета 2014

13. 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.

14. Электронный фонд. Правовой и нормативно – технической документации [электронный ресурс]. <http://docs.cntd.ru/document/9037002> дата обращения (19.05.2022).

15. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 09.05.2022) [электронный ресурс]. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683 дата обращения (19.05.2022)

16. Электронный фонд. Система стандартов безопасности труда ГОСТ 12.0.003-2015 [электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/1200136071> дата обращения (22.05.2022).

17. 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 (22.05.2022).

18. Электронный фонд. Система стандартов безопасности труда. Шум [электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/1200118606> дата обращения (22.05.2022).
19. Электронный фонд. Естественное и искусственное освещение [электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/456054197> дата обращения (22.05.2022).
20. Электронный фонд. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [электронный ресурс]. <http://docs.cntd.ru/document/1200003608> дата обращения (22.05.2022).
21. Электронный фонд. Электроустановки низковольтные [электронный ресурс]. <http://docs.cntd.ru/document/1200082275> дата обращения (23.05.2022).
22. Электронный фонд. Основополагающие принципы безопасности для интерфейса "человек-машина", выполнение и идентификация. [электронный ресурс]. <http://docs.cntd.ru/document/1200125996> дата обращения (23.05.2022).
23. Электронный фонд. Пожарная безопасность. [электронный ресурс]. <http://docs.cntd.ru/document/9051953> дата обращения (23.05.2022).
24. Электронный фонд. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Глава 1.7. Заземление и защитные меры электробезопасности (Издание седьмое). [электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/1200030216> дата обращения (23.05.2022).
25. Электронный фонд. Приказ Минтруда России от 15.12.2020 N 903н "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок". [электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/573264184> дата обращения (23.05.2022).
26. Электронный фонд. СанПиН 1.2.3685 – 21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности

для человека факторов среды обитания. [электронный ресурс].
<https://docs.cntd.ru/document/573500115> дата обращения (23.05.2022).

27. Электронный фонд. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» [электронный ресурс]. <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> дата обращения (23.05.2022).

28. Электронный фонд. Постановление Правительства РФ от 31.12.2020 N 2398 (ред. от 07.10.2021) "Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий" [электронный ресурс].
<https://docs.cntd.ru/document/573292854> дата обращения (23.05.2022).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Development of the laboratory stand for control of electric drives for the ventilation system

Student:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 5AM06 | Струков Ростислав Игоревич | | |

Консультант школы ИШЭ отделения (НОЦ) ОЭЭ:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор | Букреев Виктор Григорьевич | Д.Т.Н. | | |

Консультант лингвист ОИЯ школы ШБИП:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент | Федоринова Зоя Владимировна | К.П.Н. | | |

Introduction

The research is important because the ventilation system is widely used in the design of various kinds of structures. There are certain difficulties with setting up dynamic circuits, both for young specialists and experienced engineers. Malfunctions in the ventilation system can spoil the indoor microclimate, as well as bring expensive equipment to repair.

The aim of the present work is to develop and study methods for studying automation by inexpensive means based on the CoDeSys software module.

The objectives of the work are:

- to analyze literature data;
- provide a description of the laboratory stand;
- provide a methodology for setting up standard contours.

The research object is a laboratory stand describing the operation of the supply ventilation system working with the CoDeSys environment.

The research methods are methods for research in management theory.

The scientific novelty of the work is the study of the work of the laboratory stand with the acquisition of competencies for working with real hardware.

The practical value of the work is to use of cheap methods of studying automation.

Structure and volume of the work

Our work has 80 pages (excluding the appendix) and consists of an introduction, five main units, conclusions, references and appendices. Each unit consists of several logically interconnected chapters, followed by a conclusion where we enumerate the results of our work in relation to this block. The total outcome of the research is summarized in a separate conclusion. Our references consist of 30 sources represented by books by Russian and foreign authors.

Description of the laboratory stand

The laboratory stand is made in the form of a suitcase (430x310x130 mm) simulating a room, thanks to this it is possible to visually monitor the development of key components of the supply ventilation system.

The control of the stand is carried out using the CoDeSys environment, which is implemented according to IEC programming standards. With the help of this environment, we can simulate the operation of a PLC, upload a script, monitor the development of the script, manually adjust and observe changes in the technological process.

The laboratory stand includes a servo driver (SG90) for regulating the flap, a fan (12V), a heater (made on 40 resistors 1V, 150 ohms) and also an external power source (12V, 2A).

The appearance of the installation is shown in Figure 1.

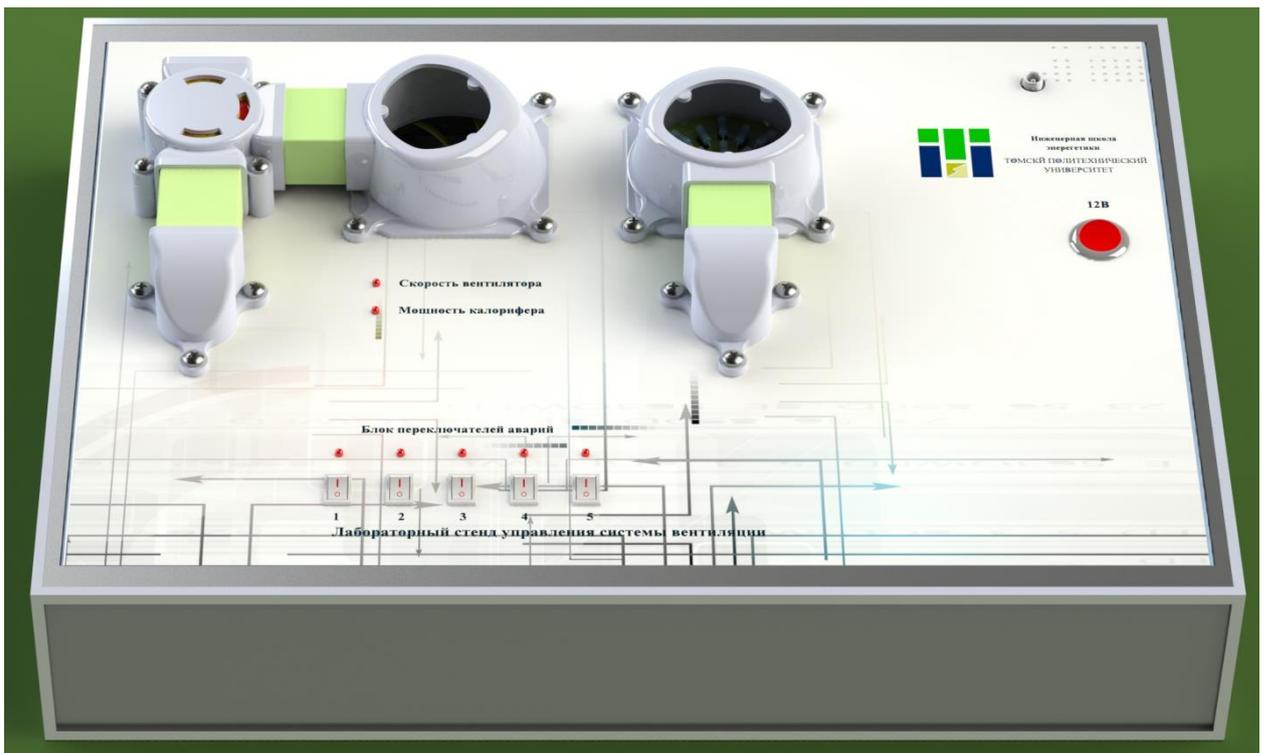


Figure 1 Appearance of the laboratory stand

As various companies strive to produce world-class products, there is a growing need for an international standard for automation of production. A huge

impact on manufacturers and users should have a new international standard for PLC programming languages – IEC 1131-3 (IEC 61131-3) [1].

CoDeSys is a set of tools through which you can program compatible PLC controllers or you can emulate a virtual controller using a PC, has wide application for automation of industrial enterprises.

The IEC 61131-3 standard was developed to describe five programming languages, which include 3 visual languages (FBD, SFC, LD), which are intended for engineers and business analysts, and 2 text languages (ST, IL) for programmers. They also have sufficient functionality, ease of use and protect against most of the possible mistakes that often occur to users using conventional programming languages. In addition, IEC 61141-3 fully meets the requirements of the standard, and also provides additional services to the user in the form of an expanded set of functional block libraries implementing standard control algorithms [2].

Description of global variables

A global variable in programming is a variable whose scope is the entire program; they are used in memory during the entire operation of the program. Mechanisms for interacting with global variables are called mechanisms for accessing the global environment or state. Global variables are used for interaction between procedures and functions for passing and returning declared variable values. In CoDeSys, they are presented on the visualization tab and are shown in the figure below:

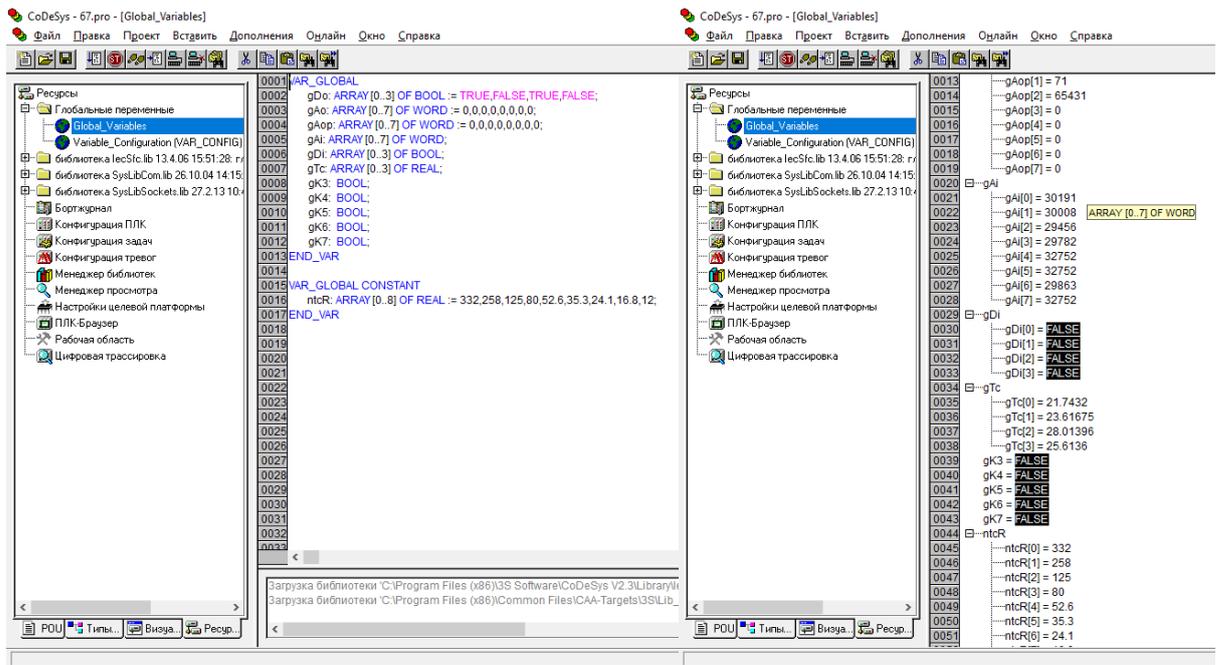


Figure 2 Global Variables tab in CoDeSys

The laboratory complex has 8 discrete PWM channels $gAo[0-7]$ they range from 0 to 1024, where 0, 1, 2 are the heater power, fan speed and valve position, respectively, 3-7 buttons on the stand 1-5.

We will conduct several experiments to compare the influence of global variables on the laboratory stand and consider the dynamics of processes.

By changing the position of the slider $gAo[1]$, which is responsible for the fan speed from the minimum value to the maximum in the global variables tab, we can see a varying value of the discrete control PWM channel from 0 to 1024, where 0 the fan does not work, and 1024 works at maximum speed. Thus, by the number of discretized values, you can see the magnitude of the control signal. The slider of the drum position and the heater power behave in a similar way. But it is worth being careful, because with a large set value of the heater power, you can heat the plastic to the melting point and the heater body can melt and in the worst case, a fire may occur.

| | |
|--------------|---------------|
| gAo | gAo |
| gAo[0] = 54 | gAo[0] = 54 |
| gAo[1] = 566 | gAo[1] = 1024 |
| gAo[2] = 0 | gAo[2] = 0 |
| gAo[3] = 0 | gAo[3] = 0 |
| gAo[4] = 0 | gAo[4] = 0 |
| gAo[5] = 0 | gAo[5] = 0 |
| gAo[6] = 0 | gAo[6] = 0 |
| gAo[7] = 0 | gAo[7] = 0 |

Figure 3 PWM channels before and after increasing the fan speed to the maximum value

The figure shows that the value of the variable gAo[1] has changed from 566 to its maximum value. We also see that on the graph in CoDeSys, the temperature reading has changed. As the fan speed increases, the temperature in the heater t3 decreases, the room temperature increases t4 and takes a steady value. This is due to the fact that when the air flow increases, the blowing of the heater increases too, thereby cooling it. Due to intensive blowing, the heating of the room is faster. Then the transient processes take on a steady-state value.

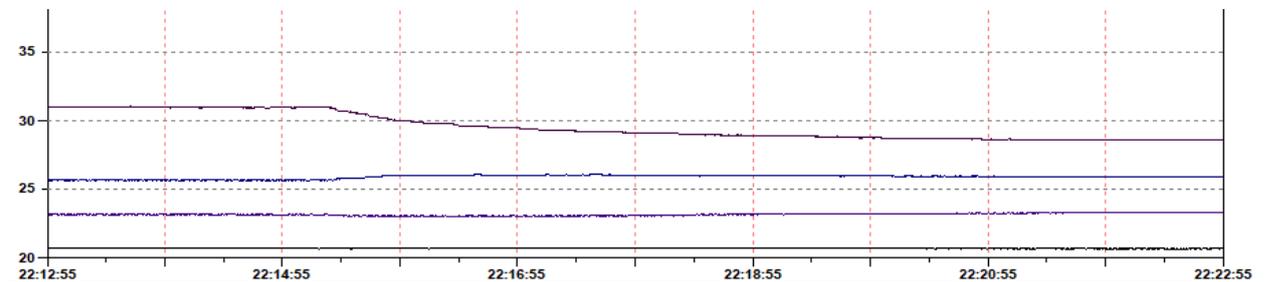


Figure 4 Graph of transients in CoDeSus after increasing the fan speed

The temperature sensor readings and the temperatures described above are displayed in the Global Variables tab.

| | |
|-------------------|-------------------|
| gTc | gTc |
| gTc[0] = 20.70886 | gTc[0] = 20.6143 |
| gTc[1] = 23.13988 | gTc[1] = 23.21891 |
| gTc[2] = 31.04053 | gTc[2] = 28.63328 |
| gTc[3] = 25.67876 | gTc[3] = 25.92801 |

Figure 4 Temperature sensor readings in CoDeSys

The temperatures are comparable to the graphs of transient characteristics; and we can deduce that the transient characteristic of temperatures on the

visualization tab coincides with the readings of temperature sensors in the global variables tab.

The sensors have the form of NTC3950–100k thermistors. The location of the sensors inside the laboratory stand is shown in Figure 5

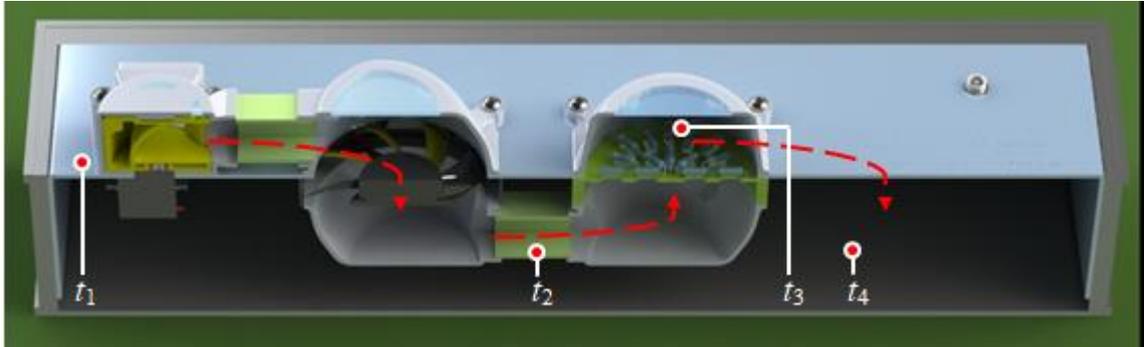


Figure 5 Location of temperature sensors on the laboratory stand

The next step is to increase the power of the heater. The change of global variables is described below:

```

┌───gAo
│gAo[0] = 112
│gAo[1] = 1024
│gAo[2] = 1024
│gAo[3] = 0
│gAo[4] = 0
│gAo[5] = 0
│gAo[6] = 0
└──gAo[7] = 0

┌───gAo
│gAo[0] = 322
│gAo[1] = 1024
│gAo[2] = 1024
│gAo[3] = 0
│gAo[4] = 0
│gAo[5] = 0
│gAo[6] = 0
└──gAo[7] = 0

```

Figure 6 PWM channels before and after increasing the heater power

```

┌───gTc
│gTc[0] = 21.39915
│gTc[1] = 24.93364
│gTc[2] = 29.91788
└──gTc[3] = 27.58073

┌───gTc
│gTc[0] = 21.47756
│gTc[1] = 25.13903
│gTc[2] = 35.77763
└──gTc[3] = 28.27632

┌───gTc
│gTc[0] = 21.37666
│gTc[1] = 25.34109
│gTc[2] = 36.93873
└──gTc[3] = 28.78888

┌───gTc
│gTc[0] = 21.34287
│gTc[1] = 25.72741
│gTc[2] = 37.85377
└──gTc[3] = 29.43581

```

Figure 7 Temperature sensor readings in CoDeSys

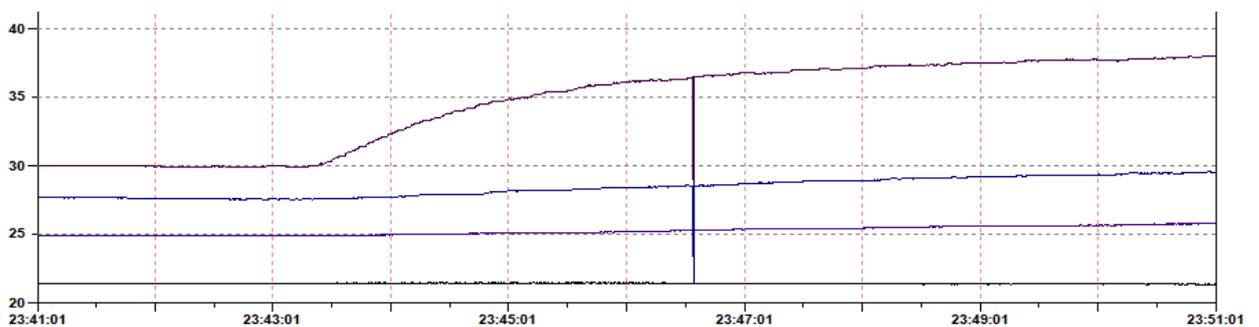


Figure 3 Graph of transients in CoDeSys after increasing the power of the heater

The graph shows that with an increase in the power of the heater, the temperature in the heater itself increases significantly, and temperature changes occur both in the room and on the fan blowing.

The next step is to reduce the fan speed. In the established mode we get an increase in temperature inside the heater and slight temperature changes in the room and on the fan in the direction of increase. Based on this, we can infer that the less air blowing, the greater the temperature on the heater.

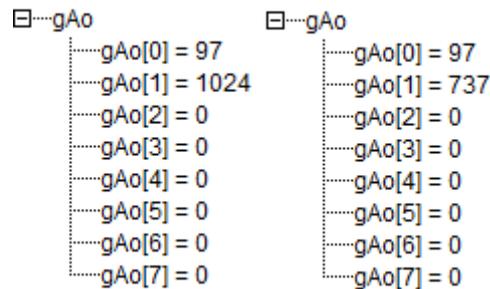


Figure 8 PWM channels before and after fan speed reduction

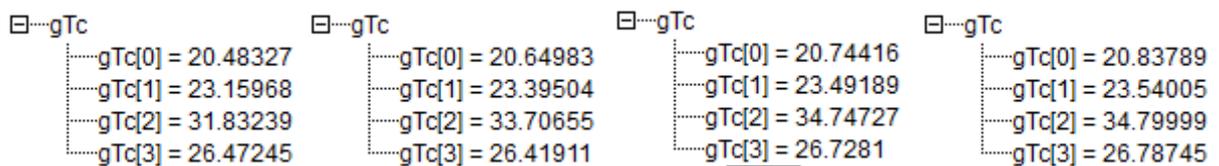


Figure 9 Temperature sensor readings in CoDeSys

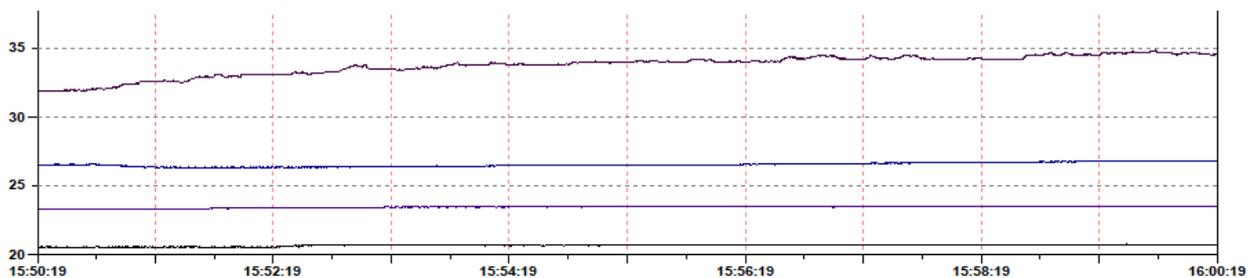


Figure 10 Graph of transients in CoDeSys after reducing the fan speed

In the last experiment, we will turn off the heater and observe the transient process.

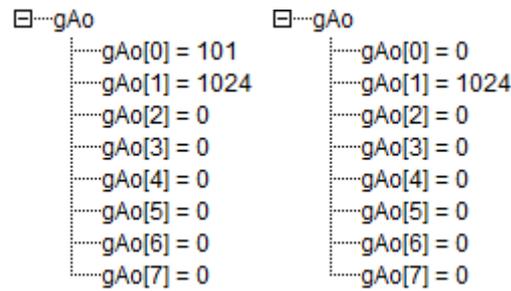


Figure 11 PWM channels before and after fan speed reduction

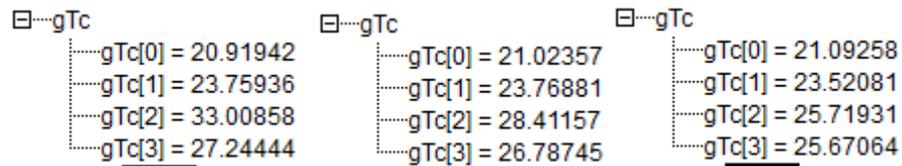


Figure 12 Temperature sensor readings in CoDeSys

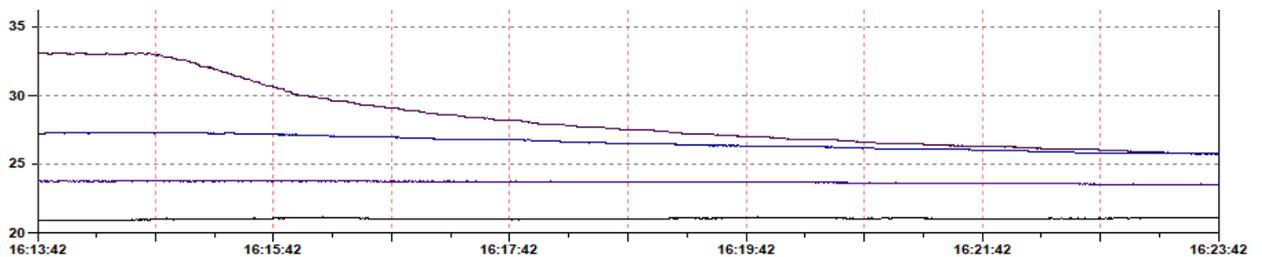


Figure 13 Graph of transient processes in CoDeSys after reducing the fan speed

In the end, the temperature in the heater became equal to the temperature inside the room, the temperature of the fan did not change, as the temperature of the air coming from the environment did not change.

As a result, a change in transient processes can be achieved by changing three variables (fan speed, heater power, position of the damper for mixing air) in a one-way or in a combined way, to achieve air production in the key nodes of the parameters we need.

Mnemocircuit

The mnemocircuit serves for the convenience of perception of the whole picture of the technological process of the object and it is a set of signaling devices and signal images (in this case, inside the project on a PC with CoDeSys installed) and internal connections of the controlled object. It graphically shows the location of the key nodes of the system. It helps the human operator to understand the

structure of the project, the relationship of parameters, the purpose of the main controls [3].

For the operator controlling the technological process, the mnemocircuit serves as a key source of information, allows him to monitor the situation in real time and make decisions, in particular about an accident or a violation of the stability of the system.

As part of the project, the operator can see the arrow indicators of the position of the drum of the heater power, the fan speed and change their values using a slider. Also on the mnemocircuit of the project there are programmable buttons which can help you to perform various kinds of operations based on the program code. A graph of temperature transient processes described in the paragraph above is also displayed, with their help it is possible to monitor the dynamics of transients in real time and apply a control effect to maintain the parameters we need.

An illustration of the mnemonic circuit in the CoDeSys project program is shown in Figure 14.

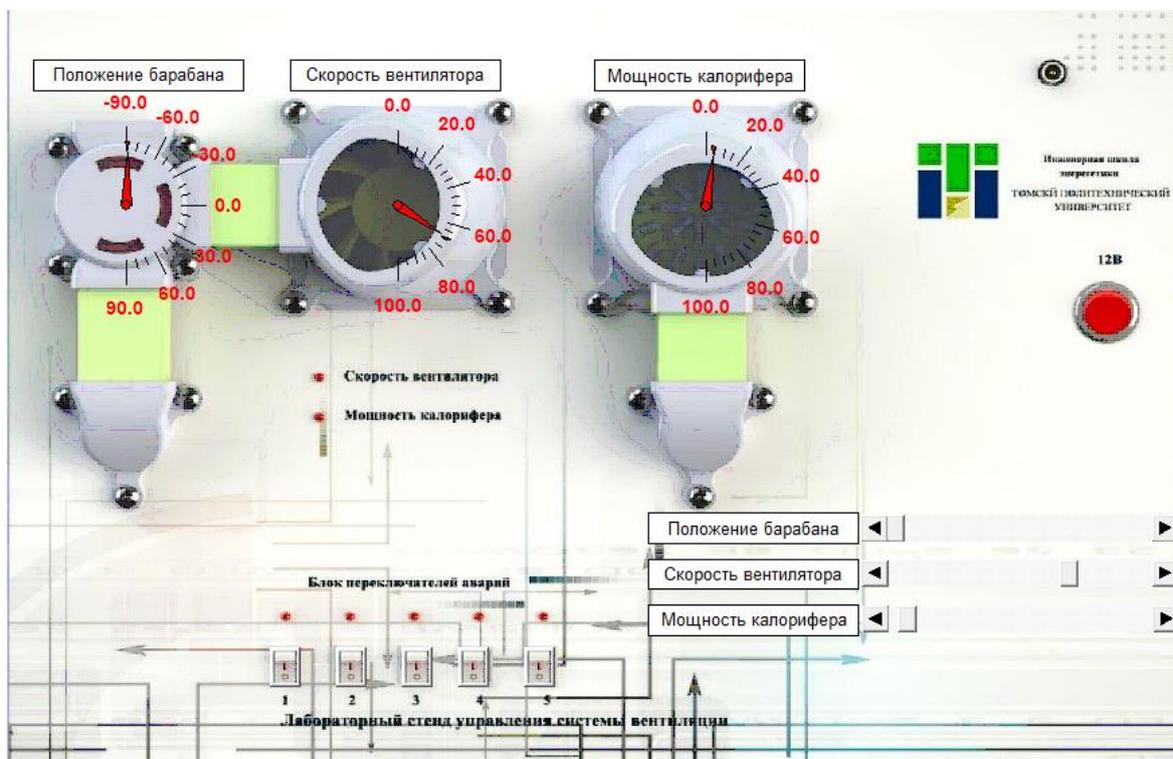


Figure 14 Illustrating of mnemocircuit for controlling a laboratory stand

On the laboratory installation itself there are buttons with which you can influence the circuit. They can be pressed, both on the mnemocircuit and on the laboratory stand itself.



Figure 15 Illustration of buttons on a laboratory stand

When you press the button on the mnemocircuit, the value of the change will show 1024 and the LED on the laboratory stand will light up bright red. The brightness of the LED can be adjusted with a slider from 0 to 1024 discrete. At the stand, you can physically press the switches and achieve maximum LED glow.

Variable change will be recorded in the global variables tab. The last button has no feedback, so when you press it on the laboratory stand, we will not see a variable change. The view of the slider on the mnemocircuit is shown in Figure 15. The changes in the global variables tab when the button is clicked are shown in Figure 16.

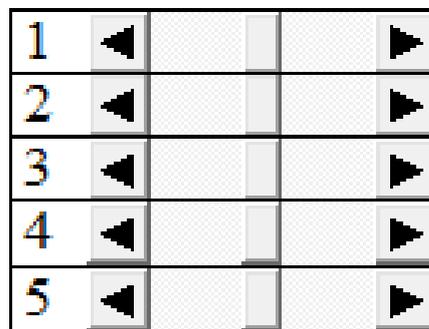


Figure 16 Illustration of a slider on a mnemocircuit for controlling a PWM signal

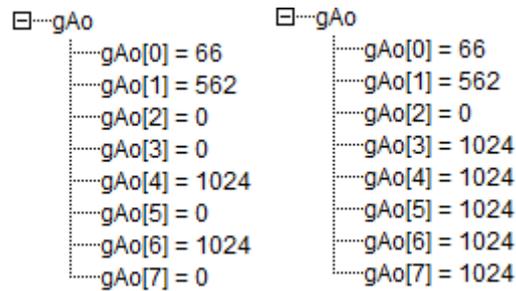


Figure 17 Dependence of the global variables on pressing the buttons, where

- a) the pressed buttons are 2 gAo[4] and 4 gAo[6]
- b) all the pressed buttons are gAo[3]-gAo[7].

These buttons can be used to influence the scheme to perform an action. To do this, you need to write a program code, for example in ST or PRG, and add the executing a task to the task configurator.

Tying buttons from the curcuit to the stand

First we need to declare a global variable in this case gK, it can be created Boolean `gK4: BOOL;` Next, create a button on the mnemocircuit in the visualization tab. On the visualization panel, we find and create a button, then click on it 2 times and open its configuration. In the window that appears, we can specify our variable, change the color, text and add a picture

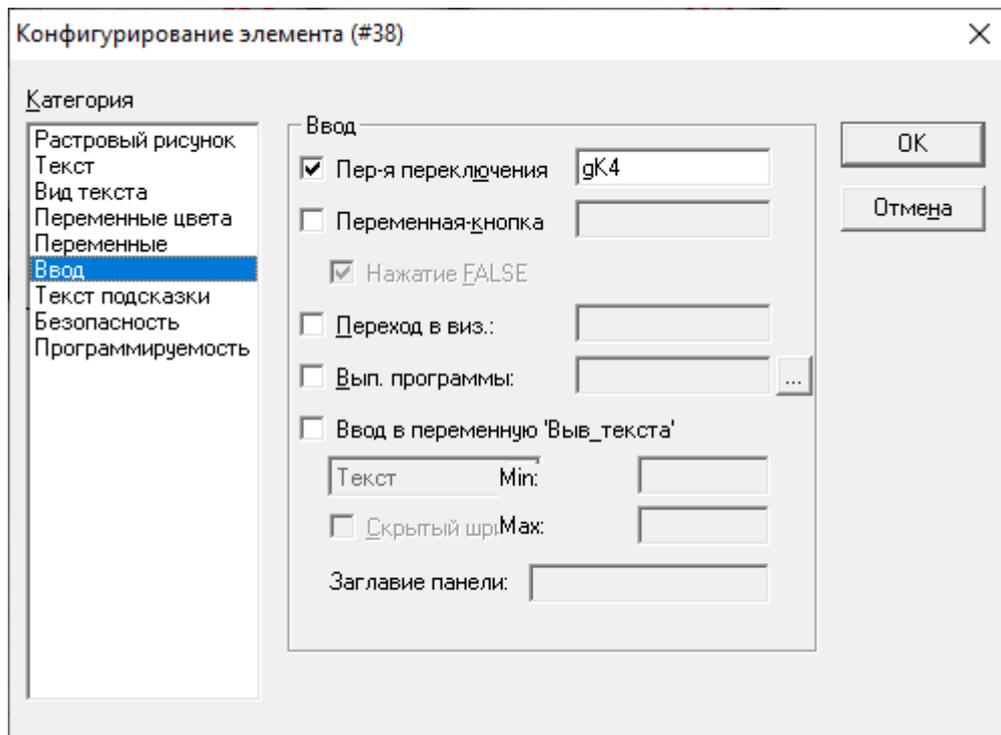


Figure 18 Element configuration window

In the POU tab, we create a program that will turn on at the maximum number of discrettes, and turn off at 0.

```
0001 PROGRAM switch
0002 VAR
0003 END_VAR
0004
0001 IF gK4 THEN
0002     gAo[4]= 1024;
0003 ELSE
0004     gAo[4]= 0;
0005 END_IF
0006
```

Figure 19 Switch program code

Project management is carried out using tasks. In the “Resources” tab, we select “Task Configuration”

Task Configurator

A task is a processing unit of the IEC program. The task has a name, priority and type. The type defines the condition for calling the task. The condition can be time (cyclic or free execution) or an event, internal or external (for example, exceeding a specified threshold of a global variable or an interrupt in the controller). For each task, a number of programs are assigned to be executed in it. If a task is executed in the current cycle, it means that the programs included in it are executed (one cycle each). The combination of priorities and call conditions determines the chronological order of tasks. Each task can be allowed or denied independently of the others. For each task, you can set a watchdog timer (execution time control). The possibilities of its use and configuration are determined by the target platform.

In the “Resources” tab, select “Task Configuration”, the Task Configuration window is divided into 2 parts

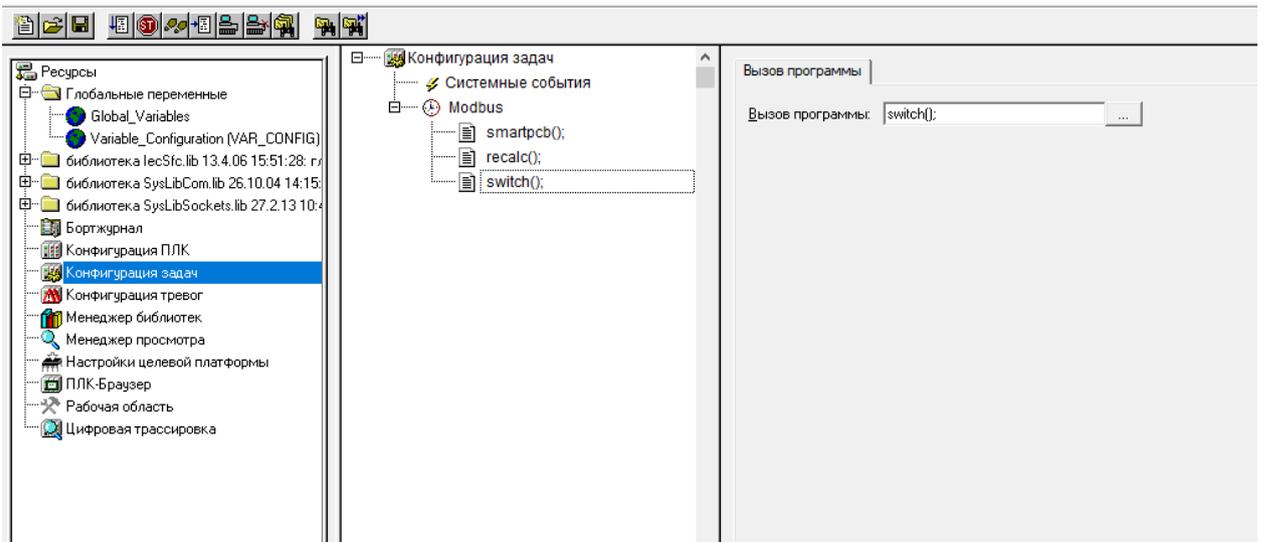


Figure 20 Task Configurator

The left part of the Task Configuration window presents tasks in a tree-like form. The 'Task configuration' element must be present at the root. Below it is a list of specific tasks presented by name. A list of included programs follows from under each task. A special icon determines the type of the element. The dialog corresponding to the selected element in the configuration tree is shown in the right part of the window. Here we can configure the properties of tasks (Task properties), program calls (Program call), set connections with system events (System events) [4].

Tracing

Tracing allows you to read and view specific values of variables for a certain period of time. Numeric trace values are written to a cyclic buffer in the controller's memory, it happens in real time. When the buffer is full, the information will be constantly overwritten. When we trace, a maximum of 20 variables can be traced, and the maximum measurement value of the variables themselves is no more than 500.

The dynamic contour can be adjusted according to a well-known mathematical model or by a transient process. Transient processes graphs can be displayed on the screen or on the tracer. They differ in that the screen is a display

meter, and the tracer gives a fixed value in a tabbed version, through which we can build the necessary graphs of transients and analyze them.

The list of trace variables and parameter settings are made in the "Trace Configuration" window.

The list of traceable variables is initially empty. New variables are added to the "Enter trace variables" line by clicking the "add" button. It is also possible to interactively select the desired variables from the list of global variables by clicking on the "manager" button.

In the configuration window, it is quite flexible to configure the startup parameters and the frequency of recording the numerical values of the transient process. The sample step sets the recording frequency in milliseconds. The number of samples specifies the number of measurements of variables.

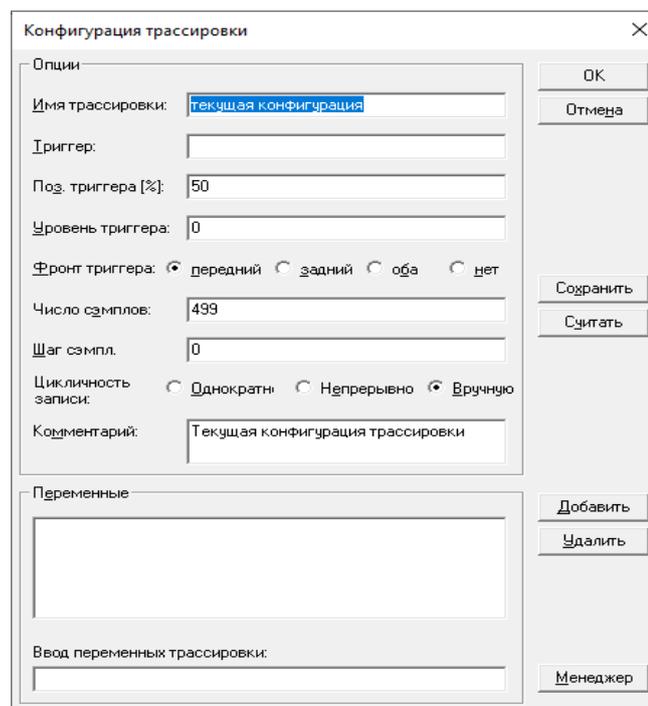


Figure 21 Trace Configuration window

Figure 3 shows the operation of the tracer, which shows the transient process at the input and output.

The trace results are saved in a tabular version to a file in the "txt" format, which can be opened and a table can be built in Microsoft Excel. To do this, click **Add-ons**→ **Recording trace values**→ **Values in the ASC|| file**

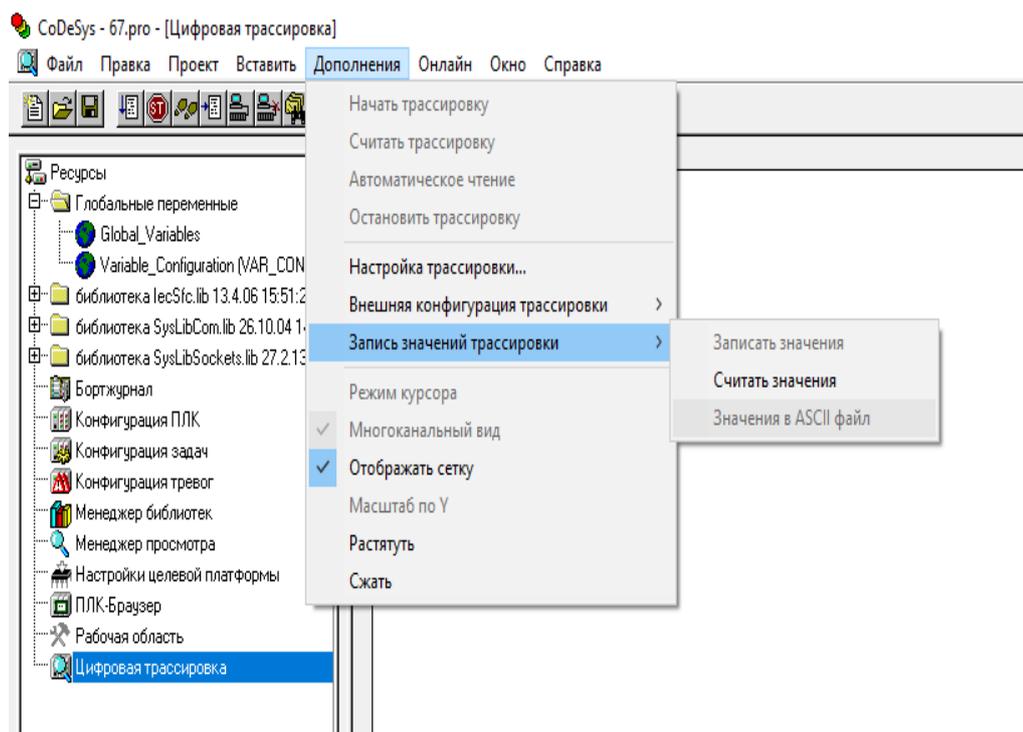


Figure 22 Saving trace results

A text document with the results of tracing is presented below

| Zyklus | ,gAo[0] | ,gTc[2] |
|--------|---------|----------|
| 0 | 12 | 28,62074 |
| 1 | 12 | 28,5893 |
| 2 | 12 | 28,5893 |
| 3 | 12 | 28,58301 |
| 4 | 12 | 28,5893 |
| 5 | 12 | 28,58301 |
| ... | ... | ... |
| 493 | 40 | 35,22111 |
| 494 | 40 | 35,21473 |
| 495 | 40 | 35,22111 |
| 496 | 40 | 35,22111 |
| 497 | 40 | 35,22111 |
| 498 | 40 | 35,22749 |

Conclusion

Summing up the results, it can be concluded that the obtained studies of dynamic contour settings can be used to configure real objects, having the necessary competencies to implement this technique.

References

1. Programmable controllers Part 3 Programming languages GOST R IEC 61131-3-[Electronic resource].
2. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293755/4293755016.pdf> (date of access 3.04.2022)
3. 5 programming languages of the IEC 6-1131/3 standard [Electronic resource]. <http://www.adastra.ru/products/overview/IEC61131/>
4. What is a mnemonic diagram, purpose, types, principles of creation, designations on diagrams [Electronic resource].
5. <http://electricalschool.info/automation/1752-chto-takoe-mnemoskhema.html>
6. User manual for PLC programming in CoDeSys 2.3 [Electronic resource]. https://owen.ru/product/codesys_v2