

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

Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы

Система автоматического управления с использованием широтно-импульсного модулятора на базе PLC150

УДК 621.51:621.376.54

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т7Б	Азеева Кристина Игоревна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суходоев Михаил Сергеевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Маланина В. А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Аверкиев А. А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен использовать основные закономерности, действующие в процессе изготовления продукции требуемого качества, заданного количества при наименьших затратах общественного труда
ОПК(У)-2	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ОПК(У)-3	Способен использовать современные информационные технологии, технику, прикладные программные средства при решении задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-4	Способен участвовать в разработке обобщенных вариантов решения проблем, связанных с автоматизацией производств, выборе на основе анализа вариантов оптимального прогнозирования последствий решения
ОПК(У)-5	Способен участвовать в разработке технической документации, связанной с профессиональной деятельностью
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен собирать и анализировать исходные информационные данные для проектирования технологических процессов изготовления продукции, средств и систем автоматизации, контроля, технологического оснащения, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством; участвовать в работах по расчету и проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования
ПК(У)-2	Способен выбирать основные и вспомогательные материалы для изготовления изделий, способы реализации основных технологических процессов, аналитические и численные методы при разработке их математических моделей, методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий, стандартные методы их проектирования, прогрессивные методы эксплуатации изделий
ПК(У)-3	Готов применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств
ПК(У)-4	Способен участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, в разработке проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, в разработке проектов модернизации действующих производств, создании новых, в

	разработке средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования
ПК(У)-5	Способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК(У)-6	Способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа
ПК(У)-7	Способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем
ПК(У)-8	Способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и управления, готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-9	Способен определять номенклатуру параметров продукции и технологических процессов ее изготовления, подлежащих контролю и измерению, устанавливать оптимальные нормы точности продукции, измерений и достоверности контроля, разрабатывать локальные поверочные схемы и выполнять проверку и отладку систем и средств автоматизации технологических процессов, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, а также их ремонт и выбор; осваивать средства обеспечения автоматизации и управления
ПК(У)-10	Способен проводить оценку уровня брака продукции, анализировать причины его появления, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению, по совершенствованию продукции, технологических процессов, средств автоматизации и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, систем экологического менеджмента предприятия, по сертификации продукции, процессов, средств автоматизации и управления
ПК(У)-11	Способен участвовать: в разработке планов, программ, методик, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств, управлением процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, инструкций по эксплуатации оборудования, средств и систем автоматизации, управления и сертификации и другой текстовой документации, входящей в конструкторскую и технологическую документацию, в работах по экспертизе технической документации, надзору и контролю за состоянием технологических процессов, систем, средств автоматизации и управления, оборудования, выявлению их резервов, определению причин недостатков и возникающих неисправностей при эксплуатации, принятию мер по их устранению и повышению эффективности использования
ПК(У)-18	Способен аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством,
ПК(У)-19	Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизированного проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами
ПК(У)-20	Способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций
ПК(У)-21	Способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-22	Способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения

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

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

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
8Т7Б	Азеевой Кристине Игоревне

Тема работы:

Система автоматического управления с использованием широтно-импульсного модулятора на базе PLC150	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ № 50-16 с от 19.02.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2021
--	------------

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>	<p>Объект исследования: лабораторная установка на базе ПЛК150. Цель работы: разработка программно-методического обеспечения для дистанционного проведения лабораторной работы «САУ с использованием ШИМ на базе PLC150». Режим работы: периодический.</p>
---	---

<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, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Описание системы автоматического управления; описание алгоритмов фильтрации и регулирования; описание программ CoDeSys и MasterSCADA; изучение способов удаленного взаимодействия с ПЛК150; выбор и реализация удаленного взаимодействия с ПЛК150; реализация алгоритмов фильтрации, ПИД и ШИМ на базе PLC150; разработка методического обеспечения для изучения работы САУ с использованием ШИМ на базе PLC150.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Маланина Вероника Анатольевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Аверкиев Алексей Анатольевич</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>12.04.2021</p>
--	-------------------

Задание выдал консультант:

<p style="text-align: center;">Должность</p>	<p style="text-align: center;">ФИО</p>	<p style="text-align: center;">Ученая степень, звание</p>	<p style="text-align: center;">Подпись</p>	<p style="text-align: center;">Дата</p>
<p>Доцент ОАР ИШИТР</p>	<p>Суходоев Михаил Сергеевич</p>	<p>к.т.н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p style="text-align: center;">Группа</p>	<p style="text-align: center;">ФИО</p>	<p style="text-align: center;">Подпись</p>	<p style="text-align: center;">Дата</p>
<p>8Т7Б</p>	<p>Азеева Кристина Игоревна</p>		

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники
 Уровень образования – бакалавриат
 Период выполнения – весенний семестр 2021 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы :	03.06.2021
---	------------

Дата контроля	Название раздела(модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.06.2021	Основная часть	75
28.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
31.05.2021	Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:
Консультант ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суходоев Михаил Сергеевич	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Е. И.	К.Т.Н., ДОЦЕНТ		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Т7Б	Азеева Кристина Игоревна

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

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 305000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 262000 руб.
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Премияльный коэффициент 30%; коэффициент доплат 20%; районный коэффициент 1,3; коэффициент дополнительной заработной платы 12%; коэффициент выплат во внебюджетные фонды 30,2%.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Обоснование необходимости и актуальности разработки	Аргументы в пользу того, что проект является необходимым и актуальным, их объяснение
2. Организация и планирование комплекса работ	Расчет и планирование времени, которое необходимо для выполнения работы
3. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Расчет затрат времени, труда, материалов и оборудования по видам работ, общий расчет сметной стоимости
4. Оценка научного уровня	Расчет показателя научно-технического уровня проекта, оценка уровня научно-технического эффекта
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Календарный план-график выполнения работ	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.04.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН ШБИП	Маланина В.А.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т7Б	Азеева Кристина Игоревна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Т7Б	Азеева Кристина Игоревна

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

Тема ВКР:

Система автоматического управления с использованием широтно-импульсного модулятора на базе PLC150

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования: установка на базе PLC150. Область применения: выполнение учебных лабораторных работ с использованием удаленного подключения к ПК, находящегося в учебной аудитории, имитирующей рабочее место оператора.</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой Кодекс РФ ФЗ-197 Рациональная организация труда в течение рабочего времени – СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. – ГОСТ 12.2.032-78. «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя» – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» – ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда – СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» – ГОСТ Р 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты – Правила устройства электроустановок
--	---

	<p>– ГОСТ Р 53692-2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов.</p> <p>– Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 N 123-ФЗ</p> <p>– ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.</p>
<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Опасные факторы: – опасность поражения электрическим током.</p> <p>Вредные факторы: – зрительное напряжение; – отклонение показателей микроклимата в закрытом помещении; – недостаточная освещенность; – нервно-психологические перегрузки, монотонность трудового процесса;</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Атмосфера: увеличение предельно допустимой концентрации веществ в результате подогревания воздуха, повышения содержания продуктов дыхания.</p> <p>Гидросфера: загрязнение воды сточными водами;</p> <p>Литосфера: утилизация оборудования, бытовых отходов, макулатуры.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Среди известных видов ЧС наиболее вероятны такие как: – возникновение пожара.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.04.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Аверкиев Алексей Анатольевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т7Б	Азеева Кристина Игоревна		

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит 165 страниц машинописного текста, содержит 32 таблицы, 55 рисунков, 1 список использованных источников, состоящий из 24 наименований, 8 приложений.

Цель работы – разработка программно-методического обеспечения для дистанционного проведения лабораторной работы «САУ с использованием ШИМ на базе PLC150».

Объектом исследования является PLC150 и лабораторная установка для регулирования расхода жидкости.

В процессе исследования проводились эксперименты по дистанционному управлению ПЛК150, тестирование программы с использованием ШИМ на базе PLC150

В результате исследования реализовано удаленное управление PLC150 и создан лабораторный комплекс методических указаний для изучения работы САУ с использованием ШИМ на базе PLC150

Областью применения являются лабораторные работы на базе НИ ТПУ.

В разделе финансовый менеджмент рассмотрены вопросы планирования и бюджета научно-исследовательской работы.

В разделе социальная ответственность рассмотрены ключевые вопросы обеспечения безопасности и обустройства рабочего места.

Ключевые слова: контроллер, удаленный доступ, ПИД, ШИМ, фильтрация, CoDeSys, MasterSCADA.

Содержание

Введение.....	17
1 Системы автоматического управления. Алгоритмы работы с системами автоматического управления	19
1.1 Основные понятия системы автоматического управления.....	19
1.2 Классификация систем автоматического управления.....	21
1.2.1 Системы программного, адаптивного и интеллектуального управления.....	21
1.2.2 Разомкнутые и замкнутые системы	22
1.2.3 Системы автоматического регулирования и следящие системы	23
1.2.4 Одномерные и многомерные системы автоматического управления.....	23
1.2.5 Линейные и нелинейные системы.....	24
1.2.6 Стационарные и нестационарные системы.....	24
1.2.7 Системы непрерывного и дискретного действия	24
1.2.8 Системы детерминированные и стохастические	25
1.3 Алгоритмы работы с системами автоматического управления	25
1.3.1 Алгоритмы фильтрации данных.....	25
1.3.2 Экспоненциальное сглаживание	25
1.3.3 Алгоритм ПИД-регулирования	28
1.3.4 Алгоритм ШИМ	31
2 Назначение, состав, технические характеристики и функциональные возможности контроллера ПЛК150	33
2.1 Назначение и общая характеристика	33

2.2	Основные технические характеристики	34
3	Программное обеспечение CoDeSys и MasterSCADA	37
3.1	Программное обеспечение контроллера на базе системы CoDeSys 37	
3.1.1	Система программирования CoDeSys	37
3.1.2	Раздел объявлений	37
3.1.3	Текстовый редактор	40
3.1.4	Графический редактор.....	41
3.1.5	Работа в системе программирования CoDeSys.....	42
3.2	Программное обеспечение MasterSCADA	50
3.2.1	Назначение SCADA-систем	50
3.2.2	Программа MasterSCADA	51
3.2.3	Обмен данными между CoDeSys и MasterSCADA.....	52
4	Удаленное взаимодействие с ПЛК ОВЕН 150	56
4.1	Удаленное обращение через статический IP-адрес	56
4.2	Удаленное подключение посредством OpenVPN	58
4.3	Подключение через модем ПМ-01	61
4.4	Подключение через RDP	64
4.5	Достоинства и недостатки рассмотренных способов удаленного подключения.....	66
4.6	Реализация подключения по RDP.....	67
5	Лабораторный комплекс для изучения работы САУ с использованием ШИМ на базе PLC150.....	72
5.1	Программная реализация алгоритмов фильтрации сигнала.....	72

5.1.1	Экспоненциальное сглаживание	72
5.1.2	Фильтр скользящего среднего	72
5.1.3	Медианный фильтр	72
5.2	Программная реализация алгоритма ПИД-регулирования.....	73
5.3	Программная реализация алгоритма ШИМ	74
5.4	Программа визуализации работы САУ, работающей на основе ШИМ	75
6	Методическое обеспечение для изучения работы САУ с использованием ШИМ на базе PLC150.....	79
6.1	Реализация алгоритмов фильтрации сигналов.....	79
6.2	Реализация алгоритма ПИД-регулирования.....	80
6.3	Реализация алгоритма ШИМ	81
6.4	Разработка программы визуализации САУ, работающей на основе ШИМ в среде MasterSCADA.....	82
7	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	84
7.1	Технико-экономическое обоснование НИР.....	84
7.2	Обоснование необходимости и актуальности разработки.....	84
7.3	Организация и планирование комплекса работ	85
7.3.1	Трудоемкость выполнения работ	85
7.3.2	Календарный план работ	85
7.3.3	Календарный план-график работ	88
7.4	Бюджет научно-исследовательской работы	89
7.4.1	Затраты на специальное оборудование.....	89
7.4.2	Основная заработная плата	90

7.4.3	Дополнительная заработная плата	92
7.4.4	Отчисления на социальные нужды	92
7.4.5	Накладные расходы	93
7.4.6	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	94
7.5	Оценка научного уровня.....	95
8	Социальная ответственность.....	101
8.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности 101	
8.2	Производственная безопасность.....	102
8.2.1	Зрительное напряжение.....	104
8.2.2	Отклонение показателей микроклимата в закрытом помещении 105	
8.2.3	Недостаточная освещенность	107
8.2.4	Нервно-психические перегрузки.....	108
8.2.5	Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	109
8.3	Экологическая безопасность.....	109
8.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	110
8.5	Вывод по разделу	112
	Заключение	114
	Список использованных источников.....	116
	Приложение А (обязательное) Характеристики ПЛК150.....	119
	Приложение Б (обязательное) Информация о программном обеспечении MasterSCADA	121

Приложение В (обязательное) Программная реализация алгоритмов.....	123
Приложение Г (обязательное) Методические указания по выполнению лабораторной работы «Реализация алгоритмов фильтрации данных в среде CoDeSys».....	128
Приложение Д (обязательное) Методические указания по выполнению лабораторной работы «Реализация алгоритма ПИД-регулирования в среде CoDeSys».....	144
Приложение Е (обязательное) Методические указания по выполнению лабораторной работы «Реализация алгоритма ШИМ в среде CoDeSys» .	152
Приложение Ж (обязательное) Методические указания по выполнению лабораторной работы «САУ с использованием ШИМ на базе PLC150» .	156
Приложение З (обязательное) План выполнения работ	163

Введение

В настоящее время непрерывно увеличивается число задач, при решении которых является необходимым применение концепций и технологий на основе систем автоматического регулирования. Данные системы обеспечивают заданное соответствие между входными и выходными величинами, улучшают функционирование управляемого объекта.

Полученные в соответствии с основными принципами функционирования систем автоматического управления комплексы программ позволяют создавать унифицированные алгоритмы для контроллеров, чтобы производить эффективное управление и регулирование различными технологическими процессами.

Также чрезвычайно важным является возможность удаленного доступа к контроллеру и его управления. В настоящее время удаленный доступ становится незаменимым инструментом для поддержания непрерывной работы организаций. Удаленное взаимодействие позволяет быстро решать необходимые задачи. Вместе с тем удаленный доступ порождает и серьезные риски безопасности предприятия: учетные данные для доступа в сеть могут быть переданы третьим лицам или украдены; личные компьютеры пользователей, с которых производится удаленный доступ, могут быть заражены вредоносным ПО.

Поэтому актуально рассмотреть тему возможности дистанционного управления PLC150 для выполнения студентами лабораторной работы «САУ с использованием ШИМ на базе PLC150».

Цель работы – разработать программно-методическое обеспечение для дистанционного проведения лабораторной работы «САУ с использованием ШИМ на базе PLC150».

Задачи работы:

1. изучить системы автоматического управления и алгоритмы работы с ними;
2. изучить назначение, состав, технические характеристики и функциональные возможности контроллера PLC150;
3. изучить функционал программ CoDeSys и MasterSCADA;
4. рассмотреть способы удаленного взаимодействия с PLC150. Выбрать один и реализовать его;
5. разработать методическое обеспечение для изучения работы САУ с использованием ШИМ на базе PLC150;
6. определить себестоимость проекта, оценить ресурсоэффективность и ресурсосбережение проекта;
7. проанализировать социальную ответственность проекта.

1 Системы автоматического управления. Алгоритмы работы с системами автоматического управления

1.1 Основные понятия системы автоматического управления

Управление объектом можно определить, как процесс получения информации о состоянии объекта управления (ОУ) и среде, в которой находится данный ОУ, обработки полученной информации и, впоследствии, формирования воздействия, которое направляется на ОУ для достижения целей управления.

Управление может происходить без участия человека — автоматическое управление. В этом случае система называется «система автоматического управления» (САУ). Управление, когда человек осуществляет подготовку технических средств и функции наблюдения за процессами, называется автоматизированным управлением, а система, в этом случае, называется автоматизированной системой управления (АСУ).

Устройство, с помощью которого осуществляется автоматическое управление объектом, называется управляющим устройством (устройством управления, УУ) [1]. Совокупность ОУ и УУ называют системой управления.

САУ можно представить в виде схемы (рисунок 1.1), где G – задающее воздействие, U – управляющее воздействие, F – помеха, X – состояние объекта. Все переменные (G , U , F , X) в общем случае являются векторами. Например, если выходных величин, описывающих состояние ОУ, несколько, то X является вектором, координаты которого являются отдельными выходными величинами.

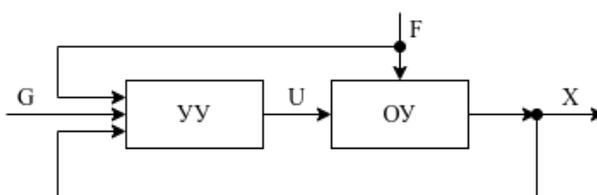


Рисунок 1.1 – Функциональная схема комбинированной САУ

В общем случае, САУ работает следующим образом: на вход УУ подаются сигнал задающего воздействия G , информация о текущем состоянии ОУ X и о помехах F , которые воздействуют на ОУ. Канал связи, по которому передается информация о текущем состоянии ОУ на УУ называется обратной связью. УУ обрабатывает входящую информацию и формирует по заложенному алгоритму управляющее воздействие U .

Существует два принципа управления – по отклонению выходной величины X от заданного значения и по возмущению F [1]. В результате первого принципа происходит компенсация разницы между текущим состоянием ОУ и заданным значением; второй принцип основывается на компенсации влияния F на состояние X ОУ. Часто принцип управления по отклонению и принцип управления по возмущению используются совместно.

К основным составным частям, которые образуют УУ САУ, относятся: чувствительное устройство (ЧУ), вычислительное устройство (ВУ), исполнительное устройство (ИУ).

К ЧУ относятся датчики – преобразователи первичного физического сигнала в величину, которая пригодна для использования в САУ. Они служат для определения значений X , F , G . ЧУ и эталон формируют измерительное устройство.

ВУ используется для реализации алгоритма работы УУ. В простом случае ВУ осуществляет математические операции на основе входных сигналов X , F , G . Примером таких операций являются нахождение разности между $X-G$, интегрирование, дифференцирование, линейного преобразования и т.п. Для реализации более сложных алгоритмов управления ВУ может представлять собой отдельную вычислительную машину или комплекс из нескольких вычислительных машин.

ИУ необходимо для воздействия на ОУ с целью изменить его состояние в соответствии с сигналом, сформированным ВУ.

1.2 Классификация систем автоматического управления

САУ классифицируют по различным признакам. На рисунке 1.2 отображена классификация САУ.

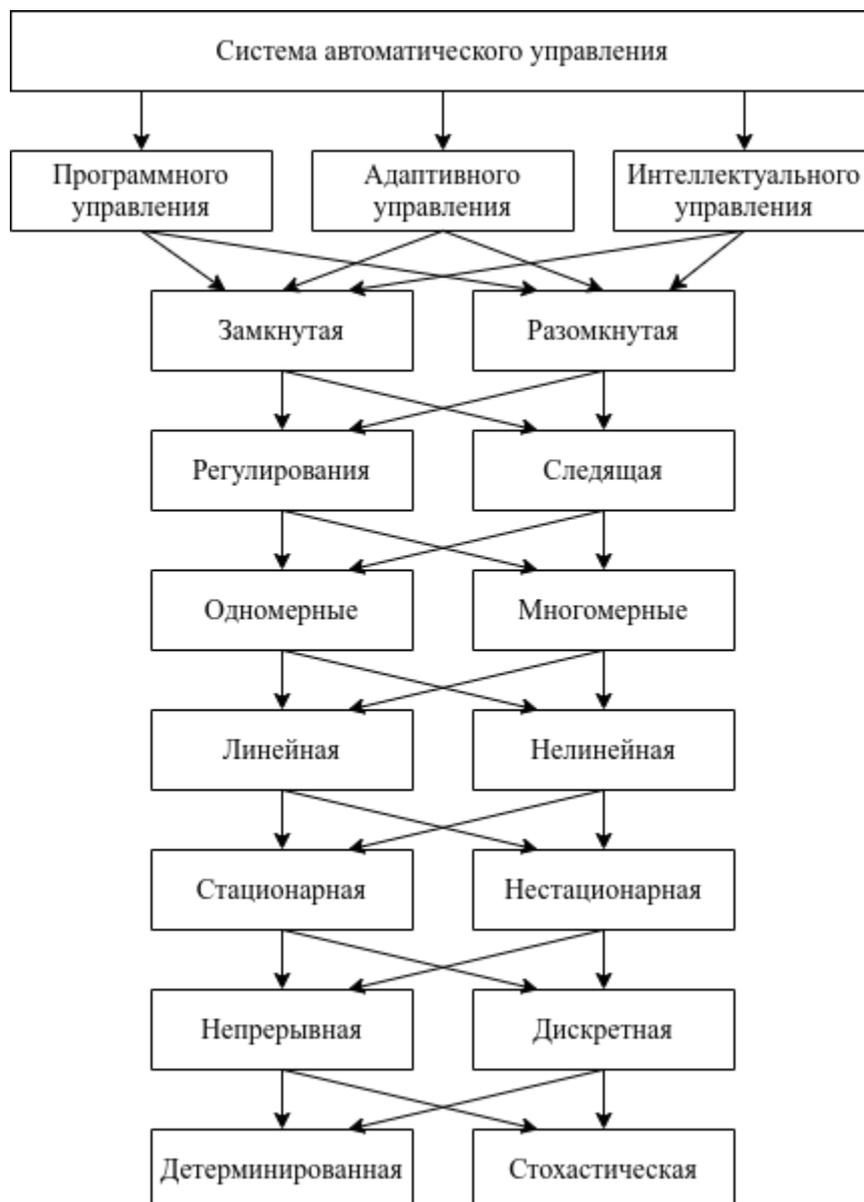


Рисунок 1.2 – Классификация САУ

1.2.1 Системы программного, адаптивного и интеллектуального управления

По способу управления различают САУ программного, адаптивного, интеллектуального управления.

Системы программного управления определяются тем, что у них задание G известно заранее как функция времени $G(t)$. Примером такой системы является программное автоматическое управления технологическим оборудованием в промышленности (системы числового программного управления) [1].

Системы адаптивного управления приспособляются к изменяющимся или заранее неизвестным условиям управления. Такие системы могут улучшать свою работу по мере накопления опыта. Улучшение происходит за счет автоматического изменения алгоритма управления.

В системах интеллектуального управления алгоритмы основаны на методах искусственного интеллекта.

1.2.2 Разомкнутые и замкнутые системы

Разомкнутые и замкнутые САУ отличаются наличием на входе УУ информации о текущем состоянии ОУ – наличием обратной связи.

В разомкнутых состояниях вектор X не измеряется, отсутствует контроль состояния ОУ. Т. е. разомкнутая САУ не содержит обратную связь между выходом ОУ и входом УУ. Разомкнутые САУ различаются по тому, что подается на вход УУ: либо только задающие воздействие G (управление по задающему воздействию), либо возмущение F (управление по возмущению, система автоматической компенсации), или G и F вместе (по задающему и возмущающему воздействиям).

В замкнутых САУ (системы с обратной связью, системы управления по отклонению) на вход УУ подаются задающее воздействие G и выходная величина объекта X . В такой системе УУ стремится ликвидировать отклонение X относительно величины G .

Комбинированные САУ представляют собой объединение замкнутой системы управления по отклонению и разомкнутой системы управления по внешнему воздействию.

1.2.3 Системы автоматического регулирования и следящие системы

Одним из видов САУ является система автоматического регулирования (САР). Данная система реализует стабилизацию выходной величины X на заданном уровне G , т. е. данная система обеспечивает условие $X=G$. В данной системе УУ называют регулятором, величину X – регулируемой величиной.

Следящие системы отличаются от САР тем, что в них задающее воздействие G не является постоянным, оно меняется по заранее неизвестному закону. Задающее воздействие поступает в следящую систему извне, задачей системы является поддержание равенства $X=G$.

1.2.4 Одномерные и многомерные системы автоматического управления

САУ делятся по количеству выходных величин ОУ, которые образуют вектор X . Так, если количество выходных величин равно единице, то САУ называют одномерной. Если выходных переменных больше, чем один, то САУ называется многомерной.

Есть два типа многомерных САУ – несвязного и связного управления. Система несвязного управления включает в себя несколько УУ, которые не имеют взаимных связей. В связной системе УУ связаны друг с другом внешними связями.

1.2.5 Линейные и нелинейные системы

В зависимости от того, какая математическая модель используется для описания САУ, различают линейные и нелинейные системы. В линейных системах для описания модели используются линейные уравнения, для нелинейных – нелинейные.

Для линейных систем справедлив принцип суперпозиции, который заключается в том, реакция системы на внешние воздействия является суммой реакций на каждое воздействие. Для нелинейных систем данный принцип не соблюдается.

Линейные системы более просты в изучении и описании, чем нелинейные САУ. Поэтому часто описание нелинейной системы упрощают до линейного описания. Данный процесс называется линеаризацией нелинейной системы.

1.2.6 Стационарные и нестационарные системы

В зависимости от того, меняются ли во времени параметры САУ, различают стационарные и нестационарные системы. В стационарных САУ параметры не изменяются во времени; в нестационарных – изменяются. Так реакция стационарной системы на одно и то же внешнее воздействие не зависит от момента времени, тогда как в нестационарной системе важно, когда было применено внешнее воздействие.

1.2.7 Системы непрерывного и дискретного действия

Если в системе содержатся звенья, выходная величина которых изменяется плавно и непрерывно, то система называется системой непрерывного действия.

Система дискретного действия содержит хотя бы одно звено, выходная величина которого изменяется скачками.

1.2.8 Системы детерминированные и стохастические

В зависимости от того, являются ли внешние и внутренние воздействия на систему определенными или случайными, САУ делят на детерминированные и стохастические. В детерминированных САУ все воздействия являются определенными, тогда как в стохастической системе есть хотя бы одно воздействие, которое является случайным [2].

1.3 Алгоритмы работы с системами автоматического управления

1.3.1 Алгоритмы фильтрации данных

Многие виды информации могут быть преобразованы в цифровой сигнал. Данный вид информации удобен для последующей обработки и анализа. Один из видов обработки цифрового сигнала – фильтрация. Алгоритмы фильтрации используются для устранения компонентов сигнала, которые не содержат полезную информацию. К данным компонентам можно отнести шум, всплески.

1.3.2 Экспоненциальное сглаживание

Алгоритм экспоненциального сглаживания основывается на том, что результатам наблюдений задаются веса, которые определяются с помощью настроечного параметра фильтра γ ($0 \leq \gamma \leq 1$) – параметра сглаживания. Если параметр γ близок к нулю, то больший вес придается наблюдениям из прошлого. Если параметр γ близок к единице, то больший вес придается более поздним наблюдениям. Обычно больший вес имеют свежие наблюдения, чем наблюдения из прошлого.

В данной работе фильтрация, происходящая с помощью экспоненциального сглаживания, выражается с помощью формулы 1.1.

$$Y[n] = \gamma X[n] + (1 - \gamma)Y[n - 1], \quad (1.1)$$

где $X[n]$ – зашумленный сигнал на n -м такте работы;

$Y[n]$ – отфильтрованный сигнал на n -м такте работы;

γ – настроечный параметр фильтра.

Пример фильтрации данных на основе алгоритма экспоненциального сглаживания при $\gamma = 0,3$ показан в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Экспоненциальное сглаживание

Такт работы n	Зашумленный сигнал $X[n]$	Отфильтрованный сигнал $Y[n]$
1	9	9,0
2	5	7,8
3	11	8,8
4	17	11,2
5	8	10,3

1.3.2.1 Фильтр скользящего среднего

Алгоритм скользящего среднего основывается на том, что данные обновляются по мере поступления новых значений, т. е. среднее значение, которое определяет отфильтрованное значение в конкретный момент времени, перемещается по временной шкале. При использовании данного алгоритма наблюдается запаздывание.

Расчет значения сигнала, отфильтрованного с помощью скользящего среднего, происходит по формуле 1.2.

$$Y[n] = \frac{\sum_{i=n+1-N}^n X[i]}{N}, \quad (1.2)$$

где $X[i]$ – зашумленный сигнал на i -м такте работы;

$Y[n]$ – отфильтрованный сигнал на n -м такте работы;

N – настроечный параметр фильтра.

В таблице 1.2 рассмотрен пример фильтрации данных с помощью скользящего среднего ($N = 3$).

Таблица 1.2 – Фильтр скользящего среднего

Такт работы n	Зашумленный сигнал $X[i]$	Отфильтрованный сигнал $Y[n]$
1	9	9,0
2	5	5,0
3	11	8,3
4	17	11,0
5	8	12,0
6	7	10,7
7	9	8,0

1.3.2.2 Медианный фильтр

Медианный фильтр осуществляет усреднение входного сигнала, тем самым подавляя различные шумы. Данный алгоритм зависит от настроечного параметра M , представляющий собой «окно» для фильтруемых данных. Если параметр M представляет нечетное число, то на выход поступает элемент «окна», находящийся в середине. В том случае, если параметр M – четное число, то выходное значение – среднее двух значений, образующих «середины» окна.

Фильтрация медианным фильтром осуществляется по формуле 1.3.

$$Y[n] = med(sort(X[(n+1-M)...n])), \quad (1.3)$$

где $X[(n+1-M)...n]$ – массив значений зашумленного сигнала;

$sort(X[(n+1-M)...n])$ – отсортированный массив значений зашумленного сигнала;

$med(sort(X[(n+1-M)...n]))$ – значение зашумленного сигнала, находящееся на центральной позиции в отсортированном массиве (если количество значений в массиве четное, то полусумма средних);

$Y[n]$ – отфильтрованный сигнал на n -м такте работы;

M – настроечный параметр фильтра.

В таблице 1.3 рассмотрен пример фильтрации данных с помощью медианного фильтра ($M = 3$).

Таблица 1.3 – Медианный фильтр

Такт работы n	Зашумленный сигнал $X[i]$	Отфильтрованный сигнал $Y[n]$
1	9	9,0
2	5	5,0
3	11	9,0
4	17	11,0
5	8	11,0
6	7	8,0
7	9	8,0

1.3.3 Алгоритм ПИД-регулирования

Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор – наиболее часто применяемый регулятор на производстве. Данный регулятор обеспечивает достаточно высокую точность при управлении различными процессами. Выходной сигнал ПИД-регулятора рассчитывается по формуле 1.4.

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot [E_i + \tau_D \cdot \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{изм}} + \frac{1}{\tau_I} \sum_{i=0}^n E_i \Delta t_{изм}] \cdot 100\%, \quad (1.4)$$

где X_p – полоса пропорциональности;

E_i – рассогласование;

τ_D – постоянная времени дифференцирования;

ΔE_i – разность между двумя соседними измерениями E_i и E_{i-1} ;

$\Delta t_{изм}$ – время между двумя соседними измерениями T_i и T_{i-1} ;

τ_I – постоянная времени интегрирования;

$\sum_{i=0}^n E_i$ – накопленная в i -й момент времени сумма рассогласований

(интегральная сумма).

Сигнал управления состоит из трех частей:

1. пропорциональная часть (1-ое слагаемое);
2. дифференциальная часть (2-ое слагаемое);
3. интегральная часть (3-е слагаемое).

Пропорциональная часть зависит от ошибки и отвечает за реакцию на мгновенную ошибку регулирования.

Интегральная часть накапливает ошибку регулирования, тем самым увеличивая скорость достижения уставки.

Дифференциальная часть зависит от скорости изменения ошибки. Это означает, что данная часть отвечает за реакцию регулятора на резкое изменение измеряемого параметра, которое может возникнуть в результате внешнего возмущающего воздействия.

Наиболее частые случаи ПИД-регулятора следующие:

- пропорциональный регулятор (П-регулятор);
- пропорционально-дифференциальный регулятор (ПД-регулятор);
- пропорционально-интегральный регулятор (ПИ-регулятор).

Многие среды программирования ПЛК содержат встроенный ПИД-регулятор. Так в среде CoDeSys есть функциональный блок PID. Данный блок реализует ПИД закон регулирования, описанный в формуле 1.5.

$$Y = Y_OFFSET + KP \cdot e(t) + \frac{1}{TN} \int_0^{TN} e(t) + TV \frac{de(t)}{dt}, \quad (1.5)$$

где Y_OFFSET – стационарное значение;

KP – коэффициент передачи;

TN – постоянная интегрирования, мс;

TV – постоянная дифференцирования, мс;

$e(t)$ – сигнал ошибки.

Пример экземпляра функционального блока PID на языке FBD изображен на рисунке 1.3.

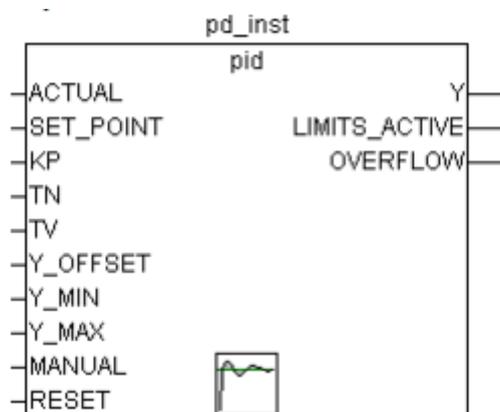


Рисунок 1.3 – Блок PID на языке FBD

Описание входов и выходов блока PID приведено в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Входы и выходы блока PID

Название	Тип данных	Описание
Входы		
ACTUAL	REAL	Текущее значение параметра регулирования
SET_POINT	REAL	Уставка
KP	REAL	Коэффициент пропорциональности
TN	REAL	Коэффициент интегрирования
TV	REAL	Коэффициент дифференцирования
Y_OFFSET	REAL	Начальное значение
Y_MIN	REAL	Минимальное допустимое значение управляющего сигнала
Y_MAX	REAL	Максимальное допустимое значение управляющего сигнала
MANUAL	BOOL	Режим работы регулятора
RESET	BOOL	Сброс
Выходы		
Y	REAL	Управляющий сигнал
LIMITS_ACTIVE	BOOL	Индикатор достижения пороговых значений

Продолжение таблицы 1.4

Название	Тип данных	Описание
OVERFLOW	BOOL	Индикатор переполнения

Неправильная настройка блока PID может вызвать неограниченный рост интегральной составляющей. Для обнаружения такой ситуации предназначен выход переполнения – OVERFLOW. При переполнении он принимает значение TRUE, одновременно останавливается работа регулятора. При реализации пользовательского блока ПИД-регулирования также необходимо учитывать возможное перерегулирование.

1.3.4 Алгоритм ШИМ

Сформированный регулятором сигнал, направленный на уменьшение рассогласования между текущим значением и уставкой, подается на исполнительное устройство в виде тока или в виде последовательных импульсов. В последнем случае исполнительное устройство работает по принципу широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

В случае работы с резервуаром, у которого необходимо регулировать расход жидкости, принцип алгоритма ШИМ может быть следующим. Входными данными являются выход с регулятора, пилообразные сигналы, которые отвечают за увеличение/уменьшение степени открытости задвижки, при открытии которой может вытекать вода. График входных величин изображен на рисунке 1.4.

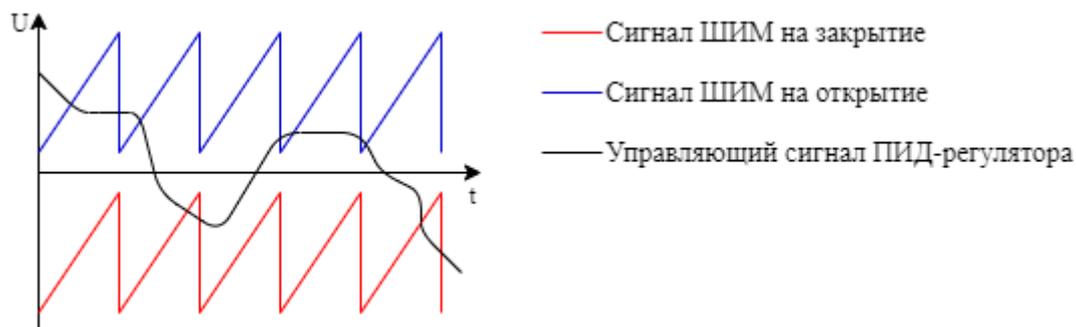


Рисунок 1.4 – Входные данные ШИМ регулятора

В те моменты, когда выход регулятора больше или равно значению сигнала ШИМ на открытие, необходимо увеличивать степень открытия задвижкой, уменьшать уровень жидкости в баке. В том случае, когда выход регулятора меньше или равен сигналу ШИМ на закрытие – степень открытия задвижки необходимо уменьшать. Регулирование изменения положения задвижки происходит за счет определения времени, в течение которого должно происходить увеличение/уменьшение степени открытия задвижки. Алгоритм получения выходного сигнала ШИМ изображен на рисунке 1.5.

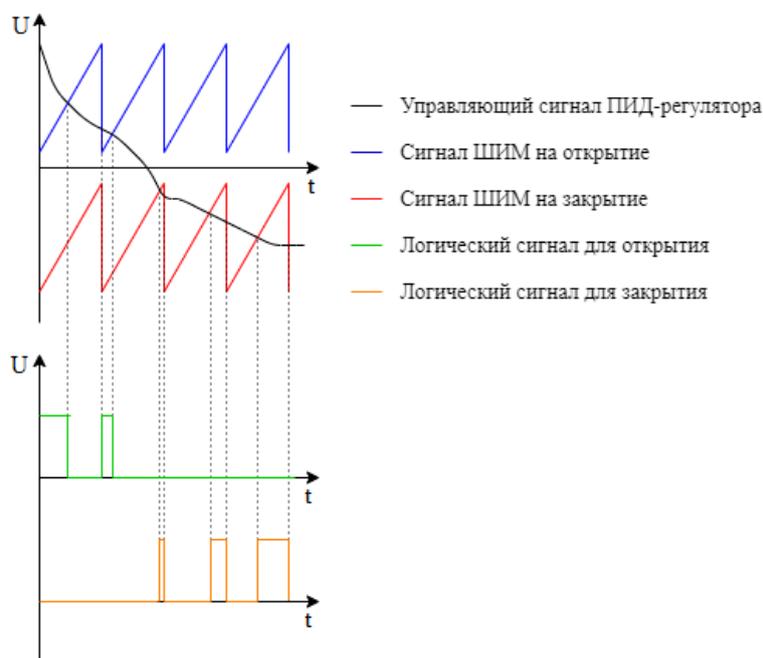


Рисунок 1.5 – Широтно-импульсная модуляция

2 Назначение, состав, технические характеристики и функциональные возможности контроллера ПЛК150

2.1 Назначение и общая характеристика

ОВЕН ПЛК150 – моноблочный контроллер с дискретными и аналоговыми входами/выходами для автоматизации малых и средних систем управления [2] и диспетчеризации различных объектов в области промышленности [4].

Если рассматривать более подробно назначение контроллера ПЛК150, то можно выделить следующие функции [5]:

1. измерение аналоговых сигналов тока и напряжения;
2. измерение и регулирование физических параметров, значение которых может быть преобразовано преобразователями в напряжение постоянного тока, унифицированный электрический сигнал постоянного тока или активное сопротивление;
3. измерение дискретных входных сигналов;
4. управление аналоговыми и дискретными выходами;
5. прием и передачу данных по интерфейсам RS-485, RS-232, Ethernet;
6. выполнение пользовательской программы.

Логика работы ПЛК150 определяется потребителем в процессе программирования, которое осуществляется в среде CoDeSys [5].

Рассматриваемый контроллер имеет дискретные и аналоговые входы/выходы, которые можно расширять путем подключения внешних модулей ввода/вывода. Кроме того, контроллер имеет встроенный аккумулятор, позволяющий «пережить» пропадание питания: выполнение программы при пропадании питания и перевод выходных элементов в «безопасное состояние» [3].

Функциональная схема ПЛК150 показана на рисунке 2.1.

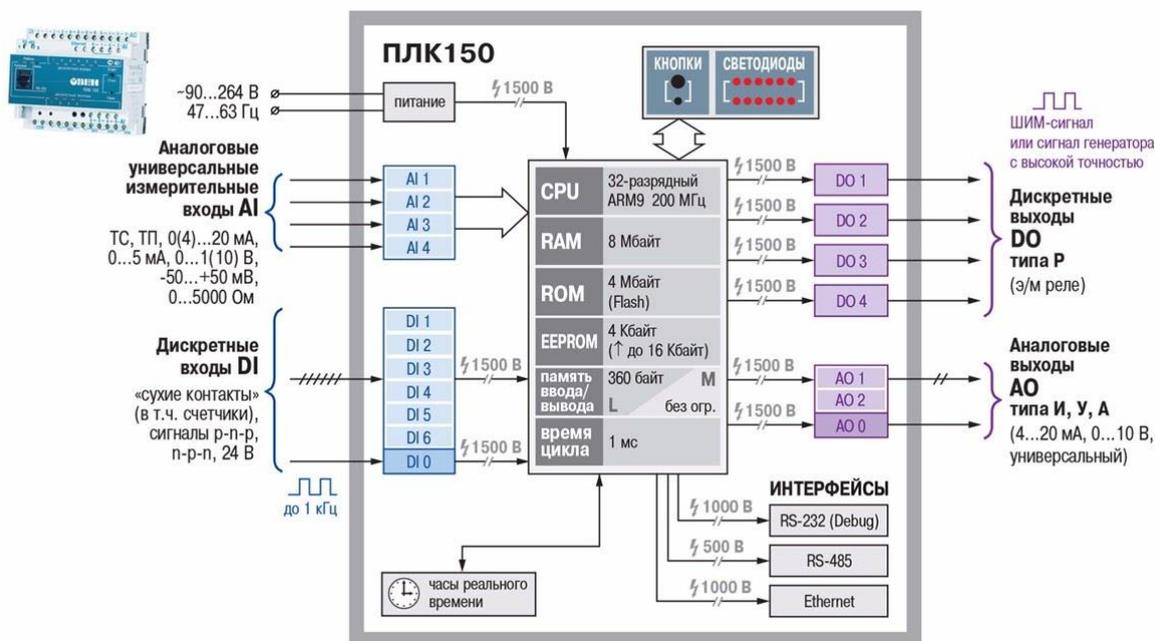


Рисунок 2.1 – Функциональная схема ПЛК150

2.2 Основные технические характеристики

Контроллер ПЛК150 имеет шесть дискретных и четыре аналоговых входов, четыре дискретных выхода и два аналоговых выхода; интерфейсы Ethernet, RS-232, RS-485. Выпускается в одном исполнении по питанию 220В переменного тока [4]. Контроллер характеризуется электрической прочностью, которая обеспечивает отсутствие пробоев и поверхностного перекрытия изоляции при напряжении 1,5кВ в течение одной минуты. Полное описание основных технических характеристик приведено в таблице 2.1 [5].

Таблица 2.1 – Основные технические характеристики ПЛК150

Параметр	Значение
Конструктивное исполнение	Унифицированный корпус для крепления на DIN-рейку (ширина 35мм), длина 105мм, шаг клемм 7,5мм

Продолжение таблицы 2.1

Параметр	Значение
Степень защиты корпуса	IP20 (корпус устройства защищает от попадания внутрь предметов диаметром, превышающим 12,5мм, и длиной больше 80мм, но при этом совершенно не препятствует попаданию в него влаги)
Напряжение питания	90... 264В переменного тока (номинальное напряжение 220В) частотой 47... 63Гц
Потребляемая мощность	6Вт
Средняя наработка на отказ	10 000ч
Габаритные размеры	105мм × 65мм × 90мм
Масса	не более 0,5кг
Средний срок службы	8 лет
Индикация передней панели	1 индикатор питания; 6 индикаторов состояний дискретных входов; 4 индикатора состояний выходов; 1 индикатор наличия связи с CoDeSys; 1 индикатор работы программы пользователя;

Информация о ресурсах контроллера представлена в таблице 2.2 [5].

Таблица 2.2 – Ресурсы

Параметр	Значение
Центральный процессор	32-х разрядный RISC-процессор 200МГц на базе ядра ARM9
Объем оперативной памяти	8МБ

Продолжение таблицы 2.2

Параметр	Значение
Объем энергонезависимой памяти хранения ядра CoDeSys, программ и архивов	4МБ
Объем энергонезависимой памяти, для хранения значений переменных	Настраивается пользователем, максимальный объем 16Кб
Время выполнения цикла ПЛК	Минимальное 250мкс (типовое от 1мс)

Характеристика дискретных входов/выходов находится в таблице 2.3 [5].

Таблица 2.3 – Характеристика дискретных входов/выходов

Параметр	Значение
Дискретные входы	
Количество дискретных входов	6
Электрическая прочность изоляции дискретных входов	1,5кВ
Максимальная частота сигнала, подаваемого на дискретный вход	1кГц при программной обработке 10кГц при применении аппаратного счетчика и обработчика энкодера
Дискретные выходы	
Количество дискретных выходов	4 электромагнитных реле
Характеристики дискретных выходов	Ток коммутации до 2А при напряжении не более 220В 50Гц и $\cos \varphi > 0,4$

Информация об аналоговых входах/выходах представлена в таблице А.1 [5].

3 Программное обеспечение CoDeSys и MasterSCADA

3.1 Программное обеспечение контроллера на базе системы CoDeSys

3.1.1 Система программирования CoDeSys

CoDeSys (акроним англ. Controller Development System) – инструмент, предоставляющий среду для программирования контроллеров на языках стандарта МЭК 61131-3 [6].

Первый программный компонент (POU, Program Organization Unit), который создается для дальнейшего программирования называется PLC_PRG. С данного компонента начинается выполнение процесса программы. Именно из PLC_PRG вызываются другие программы, функции и функциональные блоки, которые реализуют пользовательскую логику управления контроллером.

Редакторы среды CoDeSys содержат область кода и раздел объявлений. Область кода может представлять либо графический, либо текстовый редактор. Раздел объявлений всегда представлен в виде текста.

3.1.2 Раздел объявлений

Раздел объявлений используется для инициализации локальных и глобальных переменных, описания типов данных. Существует несколько видов переменных POU: входные, выходные, локальные. Синтаксис объявления переменных определяется стандартом МЭК61131-3: переменные могут объявляться в различных текстовых конструкциях «VAR... END_VAR» [7] (рисунок 3.14).

```

0001 FUNCTION_BLOCK Declarations
0002 VAR_INPUT
0003     Start:INT;
0004 END_VAR
0005 VAR_OUTPUT
0006     Out1:INT;
0007     Out2:INT;
0008 END_VAR
0009 VAR
0010     Powerindex:INT:=0;
0011     OutPuts AT %QW0:BOOL;
0012     Time1:INT;
0013 END_VAR

```

Рисунок 3.14 – Редактор раздела объявлений

Ключевые слова, которые используются для объявлений переменных приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Ключевые слова объявлений переменных

Ключевое слово	Расшифровка	Объяснение
VAR_INPUT	Входные переменные	Формальные параметры функций, типов функциональных блоков и методов, которые подаются на вход
VAR_OUTPUT	Выходные переменные	Формальные параметры функций, типов функциональных блоков и методов, которые получаются на выходе
VAR_IN_OUT	Входные и выходные переменные	Формальные параметры, которые можно использовать как входные переменные, так и выходные
VAR	Локальные переменные	Переменные, которые сохраняются от одного вызова программы или экземпляра функционального блока до другого
VAR_RETAIN	Реманентные переменные	Переменные, которые сохраняют свои значения при определенных сбоях в системе
VAR_CONSTANT	Константы	Константы, которые могут быть глобальными и локальными
VAR_EXTERNAL	Внешние переменные	Глобальные переменные, которые должны быть импортированы в POU

Помимо текстового представления, раздел переменных может иметь вид таблицы (рисунок 3.15).

	VAR	VAR_INPUT	VAR_OUTPUT	VAR_IN_OUT	CONSTANT	RETAIN	IN
	Name	Address	Type	Initial	Comment		
0001	lebt		DINT	0			
0002	SG		AWL_EXAMPLE				
0003	Sinus		REAL				
0004	Cosinus		REAL				
0005	r1		REAL				
0006	by1		BYTE				
0007	by2		BYTE				

Рисунок 3.15 – Раздел объявлений в виде таблицы

В таблице можно выбирать вкладки, отвечающие за классы переменных, и редактировать переменные. Поля, которые используются в таблице объявлений, описаны в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Поля таблицы объявлений

Поле	Назначение
Name	Имя переменной
Address	Адрес переменной

Продолжение таблицы 3.4

Поле	Назначение
Type	Тип переменной
Initial	Начальное значение
Comment	Комментарий

В режиме Online редактор раздела объявлений содержит переменную и ее текущее значение. Если значение переменной не определено, то текущее значение представляется в виде «???». Если переменная составная, то в разделе объявлений можно раскрыть данную переменную (нажатием на знак плюс возле переменной) и посмотреть значения внутренних переменных. При двойном нажатии левой кнопкой

мышью по переменной появляется диалоговое окно, в котором можно ввести новое значение для выбранной переменной. Вид раздела объявлений в режиме «Online» показан на рисунке 3.16.

Выражение	Тип	Значение	Подготовленное ...	Адрес	Комментарий
GEN_OPEN	GEN				
min_ampl_pid	INT	-10			
out_gen_open	INT	-6			
PID_0	PID				
ACTUAL	REAL	1.15261948			Current value, process variable
SET_POINT	REAL	3			Desired value, set point
KP	REAL	170			Proportionality const. P
TN	REAL	2.5			Reset time I [sec]
TV	REAL	0.8			Rate time, derivative ti... D [sec]. If set to 0,...
Y_MANUAL	REAL	0			``Y`` is set to this value as long as ``MANU..
Y_OFFSET	REAL	0			Offset for manipulated variable
Y_MIN	REAL	-10			Minimum value for manipulated variable

Рисунок 3.16 – Раздел объявлений в режиме «Online»

3.1.3 Текстовый редактор

Текстовый редактор используется для написания текстов программ на языках IL и ST.

В режиме «Online» можно устанавливать точки останова, выполнять программу по шагам.

Текстовый редактор предоставляет функционал, который удобно использовать для быстрого и правильного написания кода. Данный функционал описан в таблице 3.4 [6].

Таблица 3.4 – Функционал текстового редактора

Название	Описание	Особенности
Выделение цветом	Выделение переменных соответствующим цветом при их объявлении или использовании. Используется для нахождения синтаксических ошибок в программе.	Синий цвет: ключевые слова; зеленый цвет: комментарии; розовый: специальные константы; красный: ошибки ввода; черный: переменные, константы, операторы.

Продолжение таблицы 3.4

Название	Описание	Особенности
Режим быстрого ввода	Использование режима быстрого набора для преобразования идентификаторов.	B -> BOOL; I -> INT; R -> REAL; S -> STRING.
Автоматическое объявление переменных	При вводе имен необъявленных переменных появляется диалоговое окно, с помощью которого можно объявить переменную.	Пример диалогового окна смотреть на рисунке 3.17.
Номера строк	Все строки в текстовых редакторах пронумерованы.	В режиме Offline через номер строки можно выделить строку целиком. В режиме Online через номер строки можно установить новое значение переменной или посмотреть значения полей сложной переменной.

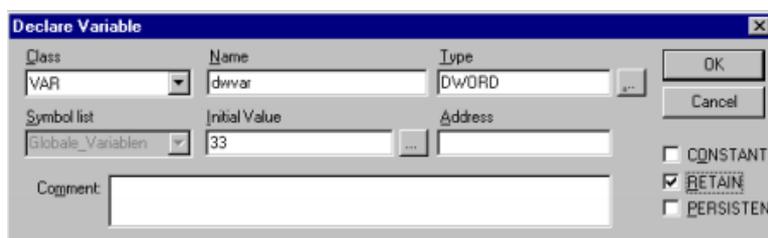


Рисунок 3.17 – Диалоговое окно для объявления переменных

3.1.4 Графический редактор

Графический редактор используется для создания программ на языках SFC, LD, FBD, CFC. Данный редактор предоставляет возможность автоматической трассировки линий соединений блоков, автоматическое

расположение компонентов программы, нумерация цепей, масштабирование программного кода в программе.

В режиме «Online» в графическом редакторе активные цепи выделяются толщиной и цветом; есть возможность изменения входных переменных.

3.1.5 Работа в системе программирования CoDeSys

Начало работы в среде CoDeSys начинается с создания проекта. На данном этапе выбирается контроллер, который необходимо запрограммировать и/или с которого нужно получить данные. Для выбора контроллера предварительно должны быть установлены target-файлы. Target-файл – файл или набор файлов, поставляемых производителем, содержащие информацию о ресурсах контроллера, количестве входов и выходов, интерфейсах и т.д [5] (рисунок 3.18).

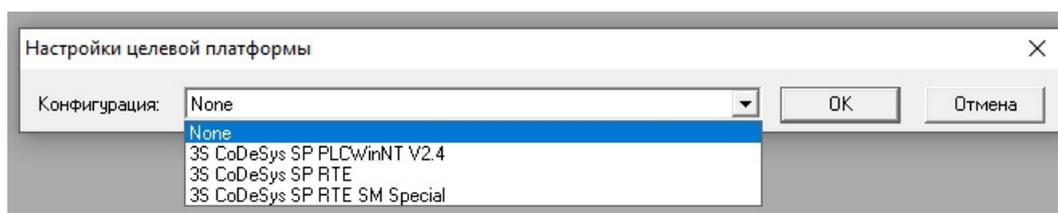


Рисунок 3.18 – Выбор target-файла

После того, как выбран target-файл, появляется окно, для настройки целевой платформы. В данном окне можно предварительно настроить проект так, чтобы через OPC-сервер можно было передавать данные в SCADA систему (рисунок 3.19).

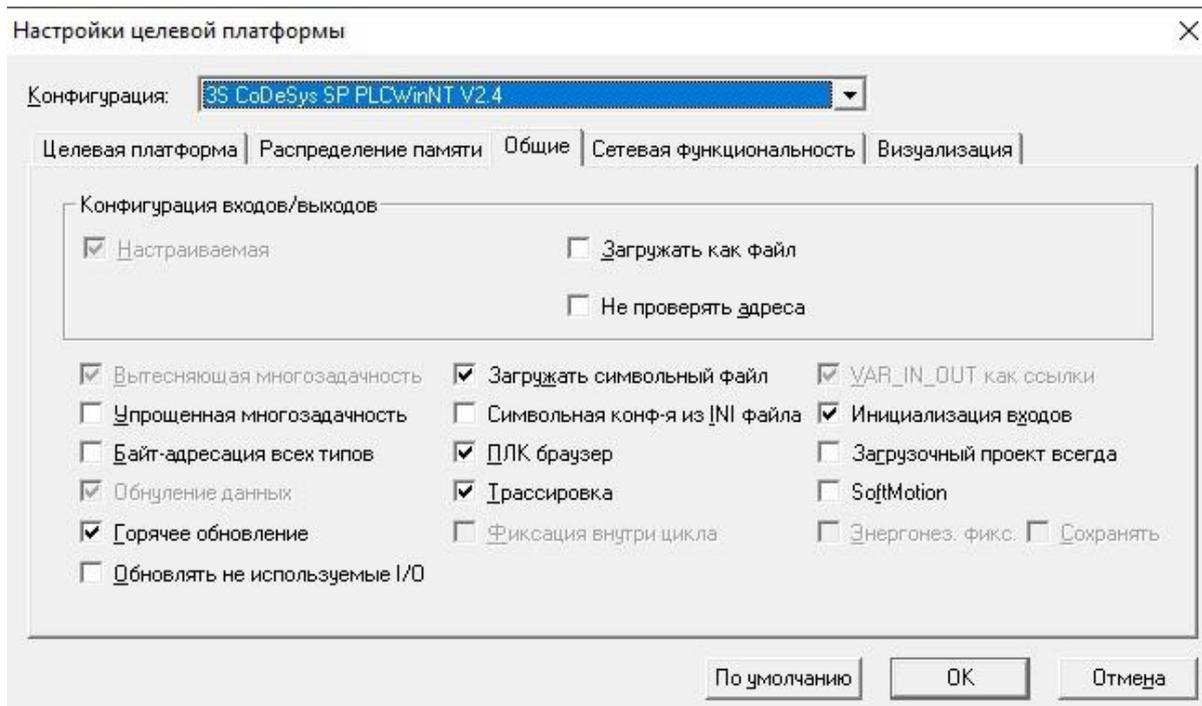


Рисунок 3.19 – Окно настройки целевой платформы

После подтверждения настроек target-файла необходимо создать основной POU. Главная программа всегда должна иметь тип «Program» и имя «PLC_PRG». Поэтому в данном диалоге (рисунок 3.20) необходимо выбрать только язык программирования.

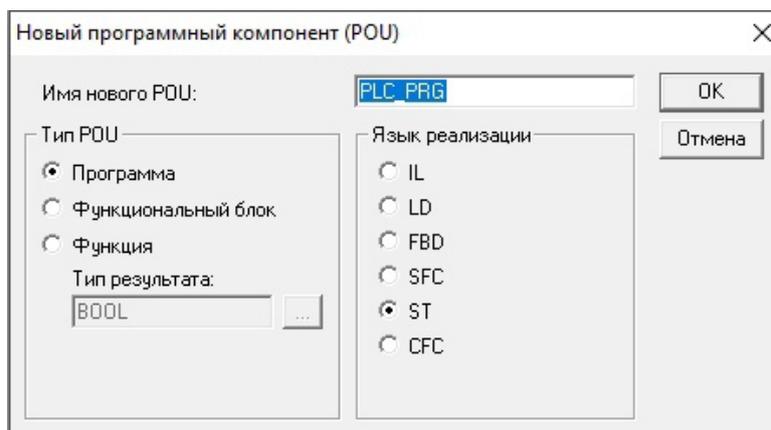


Рисунок 3.20 – Создание POU

К основным элементам, из которых формируется пользовательская логика контроллера, относятся переменные, программы, функции и функциональные блоки. Переменные – именованная область памяти — инициализируется в разделе объявлений. Функция – программный

компонент, который возвращает только одно значение. Функциональный блок – это программный компонент, который может принимать и возвращать произвольное число значений. Разница между функцией и функциональным блоком заключается не только в различном количестве выходных переменных, но и в том, что чтобы использовать функциональный блок, необходимо создать его экземпляр (в отличие от функции). Т.е. функциональный блок относится к пользовательским типам.

Программа – компонент, который формирует значения во время вычислений и сохраняет их между вызовами.

CoDeSys предоставляет возможность использования не только пользовательских элементов (функций, функциональных блоков), но и из стандартных наборов – библиотек. Чтобы подключить библиотеку, необходимо использовать менеджер библиотек (рисунок 3.21).

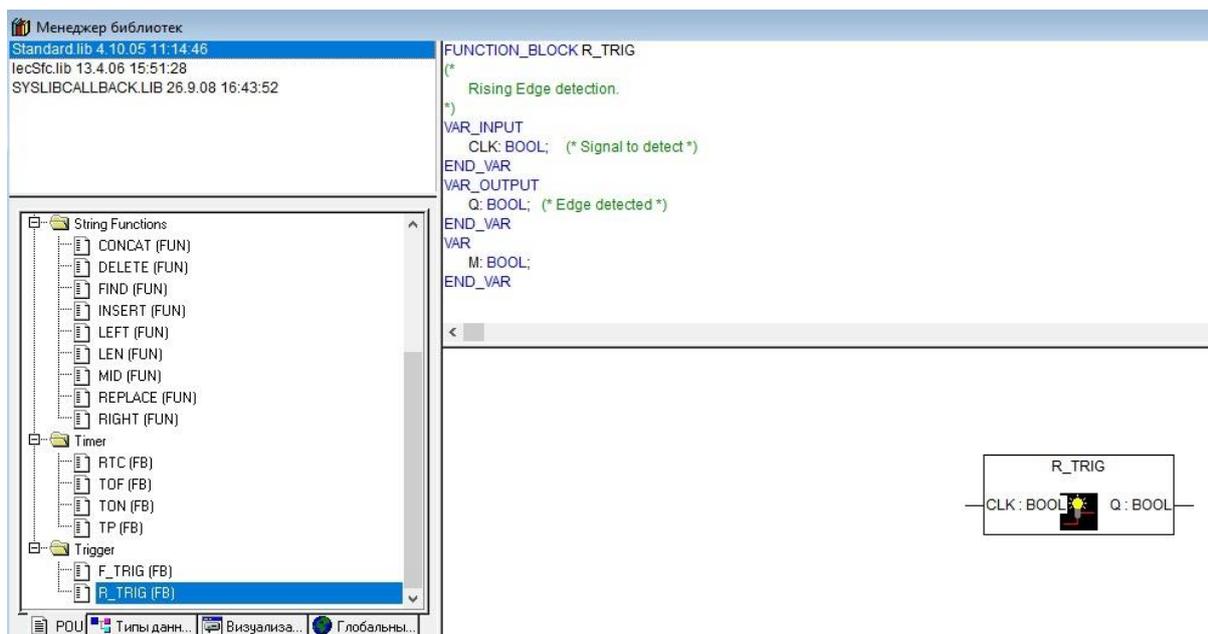


Рисунок 3.21 – Менеджер библиотек

Библиотека Standard.lib содержит все функции и функциональные блоки, которые требуются в стандарте МЭК 61131-3, поэтому она доступна всегда. Чтобы подключить дополнительную библиотеку,

необходимо щелкнуть правой кнопкой мыши по менеджеру библиотек, выбрать в появившемся меню «Добавить библиотеку» (рисунок 3.22).

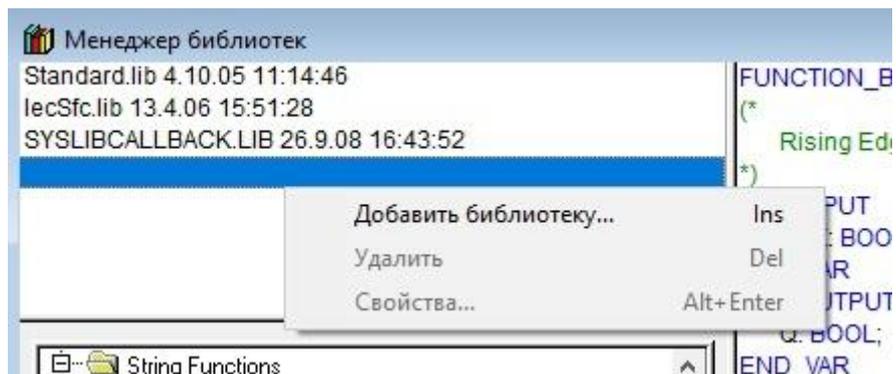


Рисунок 3.22 – Подключение библиотеки

В появившемся диалоговом окне необходимо выбрать библиотеку (многие устанавливаются вместе со средой CoDeSys).

Помимо подключения библиотек, можно еще работать с другими ресурсами, а именно с входами и выходами контроллера. При создании проекта выбирается target-файл, который предоставляется среде CoDeSys данные о том, сколько входов/выходов есть у контроллера, какие они. На основе данной информации есть возможность получать данные с контроллера и передавать ему значения. Для работы с переменными контроллера используется меню “Конфигурация ПЛК” (рисунок 3.23).

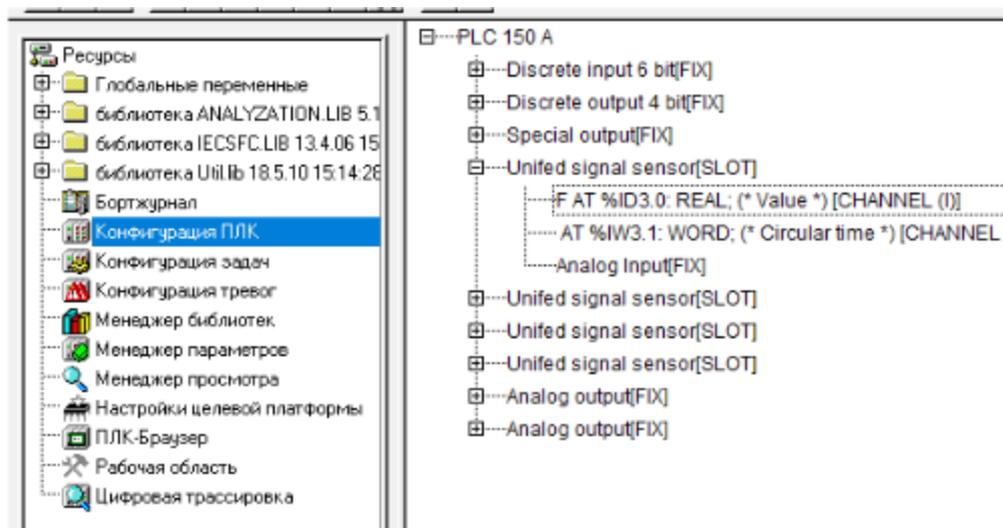


Рисунок 3.23 – Конфигурация ПЛК

С помощью данной конфигурации можно задавать символические имена для входов/выходов, чтобы далее их использовать в программах.

К важным настройкам относится настройка времени выполнения цикла. PLC_PRG вызывается один раз в цикл, и значение времени важно для получения ожидаемого результата работы программы. Неверно настроенное время может привести к ошибкам, например, при выполнении операции интегрирования или дифференцирования. Чтобы определить время цикла, необходимо использовать «Конфигурация задач» (рисунок 3.24).

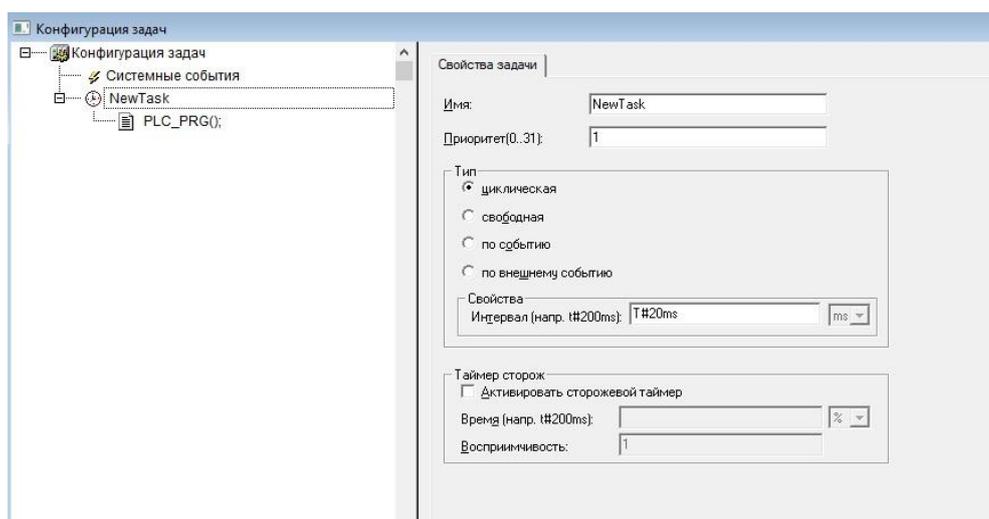


Рисунок 3.24 – Конфигурация задач

С помощью конфигуратора задач определяется приоритет, время выполнения задачи. К задаче обязательно должна прикрепляться программа, которая будет выполняться в соответствии с заданными условиями.

После того, как создана программа, определены основные параметры для ее выполнения ее необходимо выполнить, т.е. перейти из режима «Offline» в режиме «Online». Данный переход осуществляется с помощью последовательного выбора «Онлайн» - «Подключение» (рисунок 3.25).

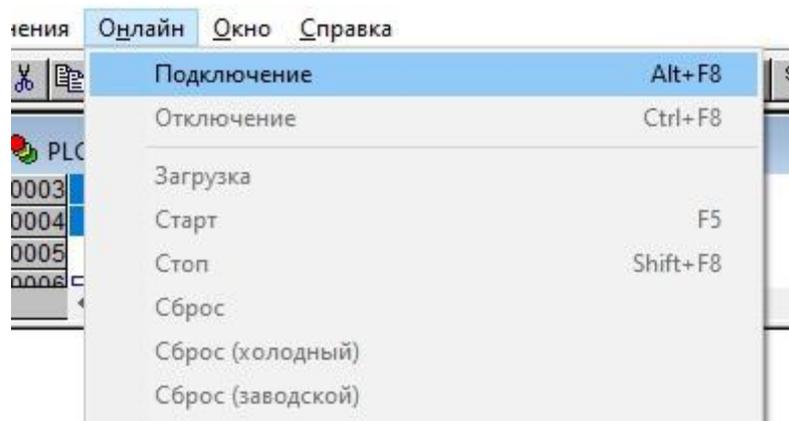


Рисунок 3.25 – Подключение программы

После подключения активируется функция «Старт» вкладки «Онлайн», при нажатии на которую начинается выполнение программы. Если необходимо только протестировать программу, то можно выбрать режим эмуляции (вкладка «Онлайн»). В этом случае происходит имитация работы контроллера, пользователь сам задает величины и смотрит результат работы при заданных величинах.

Для работы программы на реальном контроллере необходимо, во-первых, загрузить программу в контроллер. Загрузка программы в контроллер так же выполняется с помощью «Онлайн» - «Подключение». После чего нужно нажать кнопку «Старт» либо в среде CoDeSys, либо на лицевой части контроллера. Перед данными действиями необходимо предварительно установить связь с контроллером. Установка связи с контроллером возможна по интерфейсам Ethernet, Debug RS232 или через последовательный модем (подключенный к порту Debug RS-232). Настройка канала соединения с контроллером производится в окне «Онлайн» - «Параметры связи» (рисунок 3.26).

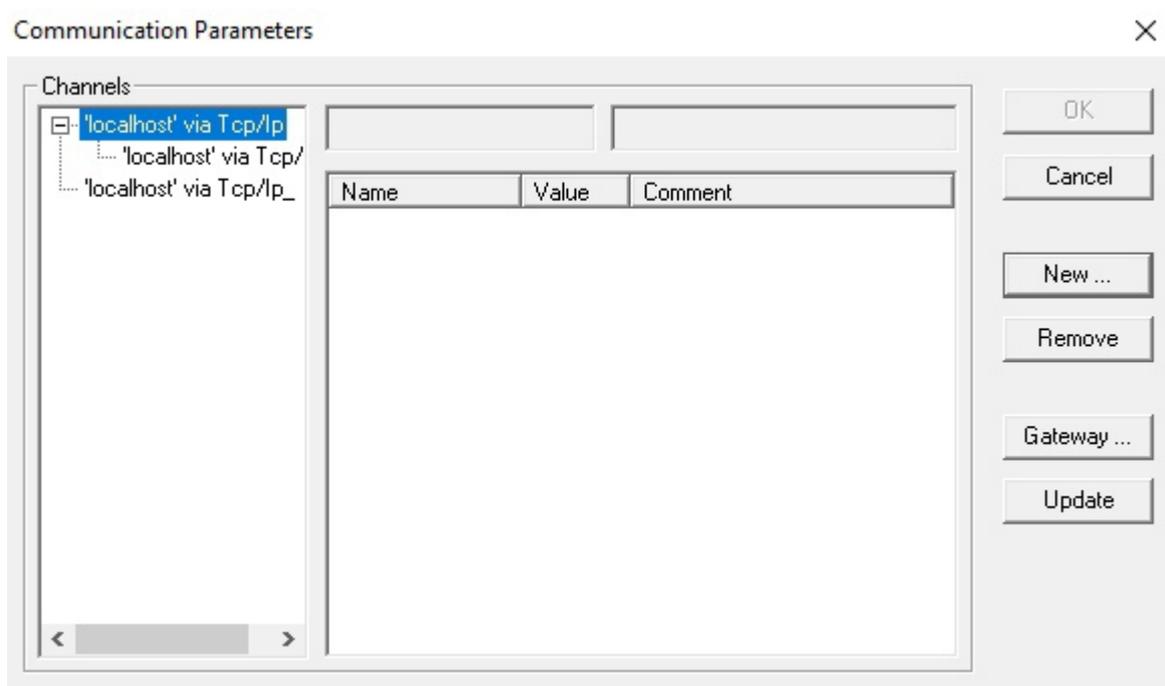


Рисунок 3.26 – Окно «Параметры связи»

Для создания нового канала связи необходимо в «Параметры связи» нажать кнопку «New», после чего откроется окно для настройки соединения (рисунок 3.27).

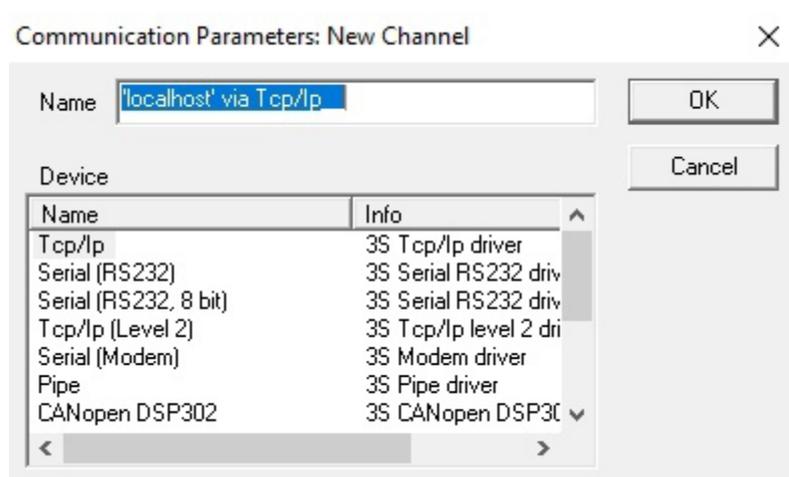


Рисунок 3.27 – Создание соединения

В этом окне можно задать имя для нового соединения и выбрать из перечня интерфейс соединения: Tcp/Ip (Level 2) для связи по интерфейсу Ethernet, Serial (RS232) для связи через порт Debug RS-232 напрямую или Serial (Modem) для связи через последовательный модем. Далее будут описаны шаги настройки соединения для ПЛК-150.

При выборе соединения Serial (RS232) в настройках параметров следует задать COM-порт (параметр «Port»), по которому ПЛК подключается к компьютеру и изменить скорость соединения (параметр «Baudrate») на 115200 бит/с и настройку бит четности (параметр «Parity») на «No» (рисунок 3.28).

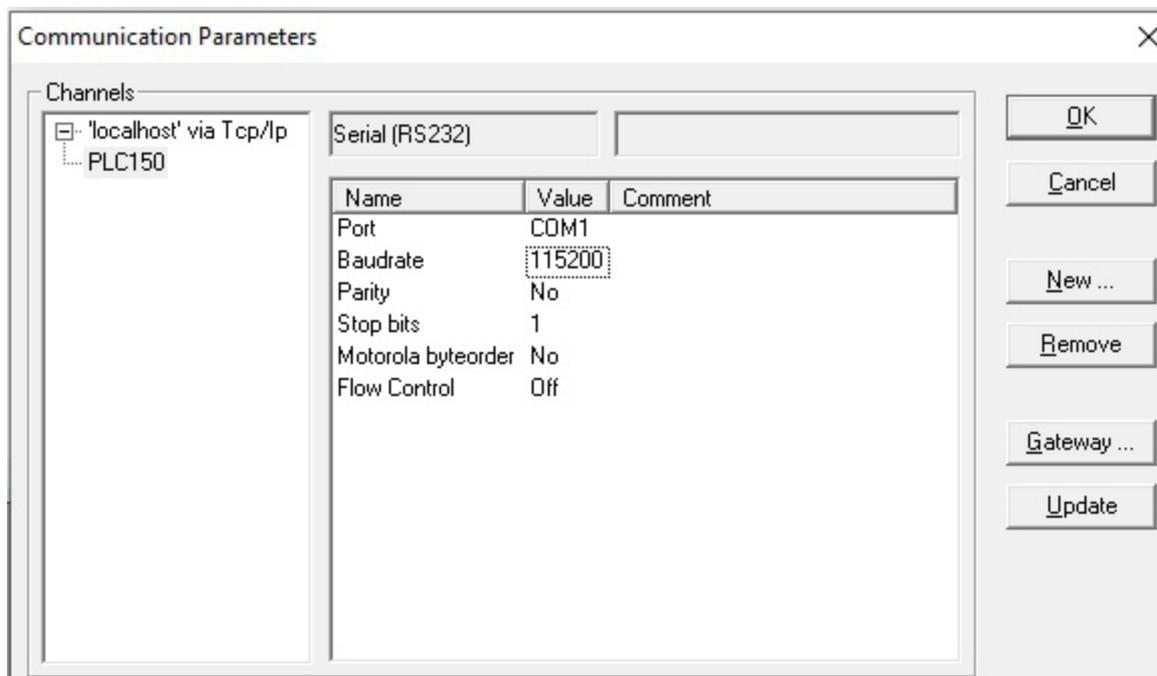


Рисунок 3.28 – Настройка соединения типа «Serial»

Для установки соединения по интерфейсу Ethernet контроллер и компьютер должны находиться в одной IP-подсети. При изготовлении устанавливается IP-адрес контроллера 10.0.6.10. Поэтому необходимо присвоить компьютеру дополнительный IP-адрес в подсети 10.0.6, отличный от адреса 10.0.6.10. Маску подсети задать равной 255.255.0.0. При настройке соединения «Tcp/Ip (Level 2)» в параметре «Address» необходимо задать IP-адрес контроллера, дважды щелкнув левой кнопкой мыши по значению адреса, и ввести новое значение с клавиатуры.

3.2 Программное обеспечение MasterSCADA

3.2.1 Назначение SCADA-систем

Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA, диспетчерское управление и сбор данных) – сбор информации в режиме реального времени с удаленных объектов, которая необходима для обработки, анализа и управления удаленными объектами. SCADA-системы обеспечивают высокое качество регулирования.

В настоящее время большая часть SCADA-систем состоит из элементов, показанных на рисунке 3.29.

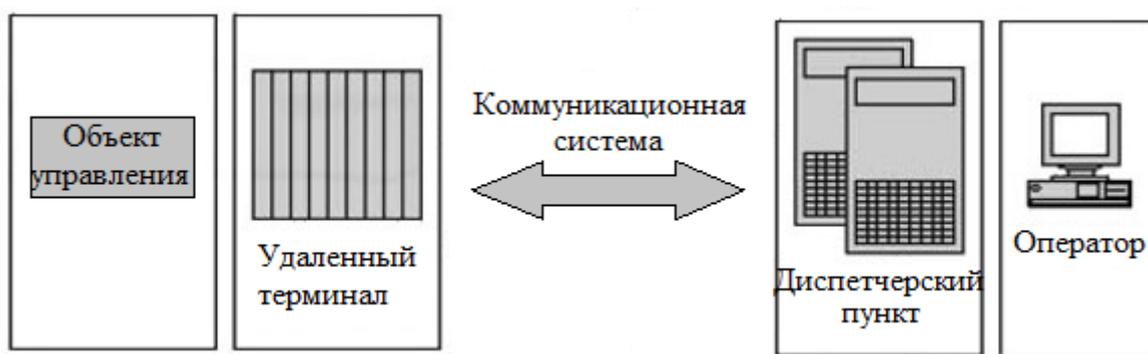


Рисунок 3.29 – Основные структурные компоненты SCADA системы

Удаленный терминал (Remote Terminal Unit, RTU) обрабатывает задачи в режиме реального времени. Может представлять собой набор примитивных датчиков, которые считывают данные с объекта, или многопроцессорные отказоустойчивые вычислительные комплексы.

Диспетчерский пункт (Master Terminal Unit, MTU) обрабатывает данные управления высокого уровня в режиме реального времени. Обеспечивает интерфейс между оператором и системой.

Коммуникационная система (Communication System, CS) передает данные с удаленных объектов на центральный интерфейс диспетчера. Также каналы связи передают сигналы управления на удаленный объект.

К основным возможностям SCADA-системы относятся:

- сбор первичной информации от устройств нижнего уровня;

- автоматизированная разработка программного обеспечения системы автоматизации;
- управление и регистрация сигналов об аварийных ситуациях;
- хранение информации с помощью баз данных;
- обработка первичной информации;
- визуализация информации и процессов.

3.2.2 Программа MasterSCADA

MasterSCADA – это SCADA-пакет, построенный на клиент-серверной архитектуре и имеющий возможность функционирования в локальных сетях и в Интернете. Прием и передача данных на основе стандартов OPC является встроенной [8].

К основным преимуществам пакета MasterSCADA относится предоставление возможности единой среды разработки АСУ ТП. Так можно создавать распределенные алгоритмы контроля и управления. Кроме того, имеется возможность доступа с любого рабочего места к любой информации, которая имеется в системе.

MasterSCADA следует стандартам, что обеспечивает взаимодействие с другими программами с помощью современных технологий.

В рассматриваемой программе используется объектный подход. Объект в MasterSCADA представляет собой единицу системы, которая соответствует реальному технологическому объекту, управление которого происходит с помощью проекта MasterSCADA.

Проект MasterSCADA состоит из разделов «Система» (описывает техническую структуру системы) и «Объект» (описывает иерархию технологического объекта). Окно проекта состоит из четырех областей – дерево системы, дерево объектов, страница свойств элементов, палитра элементов.

В таблице Б.1 приведено описание основных разделов окна проекта MasterSCADA.

Объекты могут иметь мнемосхемы – окна, предоставляющие информацию в графическом виде. Число мнемосхем в проекте не ограничено.

Для проекта может быть настроен тренд – график параметров, изображающий их изменение в режиме реального времени.

MasterSCADA предоставляет три варианта режима исполнения (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Режимы исполнения MasterSCADA

Название режима	Описание
Рабочий режим	Основной режим исполнения. Программа в этом режиме проводит реальное управление объектом.
Режим отладки	Для отладки проекта на одном компьютере.
Режим имитации	На входы, для которых не определены связи, будет подаваться сигнал, созданные с помощью имитации в соответствии с заданными настройками

3.2.3 Обмен данными между CoDeSys и MasterSCADA

OPC (Open Platform Communications) – стандарт для безопасного и надежного обмена данными в сфере промышленной автоматизации. Данный стандарт не зависит от платформы и обеспечивает поток информации между устройствами [9].

Схема обмена данными организована следующим способом: OPC-сервер поставляет данные, а OPC-клиент их потребляет. К OPC-клиентам относится программное обеспечение высокого уровня, например, SCADA-пакет.

Для организации связи между CoDeSys и MasterSCADA с помощью интерфейса OPC необходимо выполнить ряд настроек. Во-первых, при создании проекта в среде CoDeSys необходимо в окне настроек выбрать раздел «Общие» и отметить пункт «Загружать символьный файл» (рисунок 3.30).

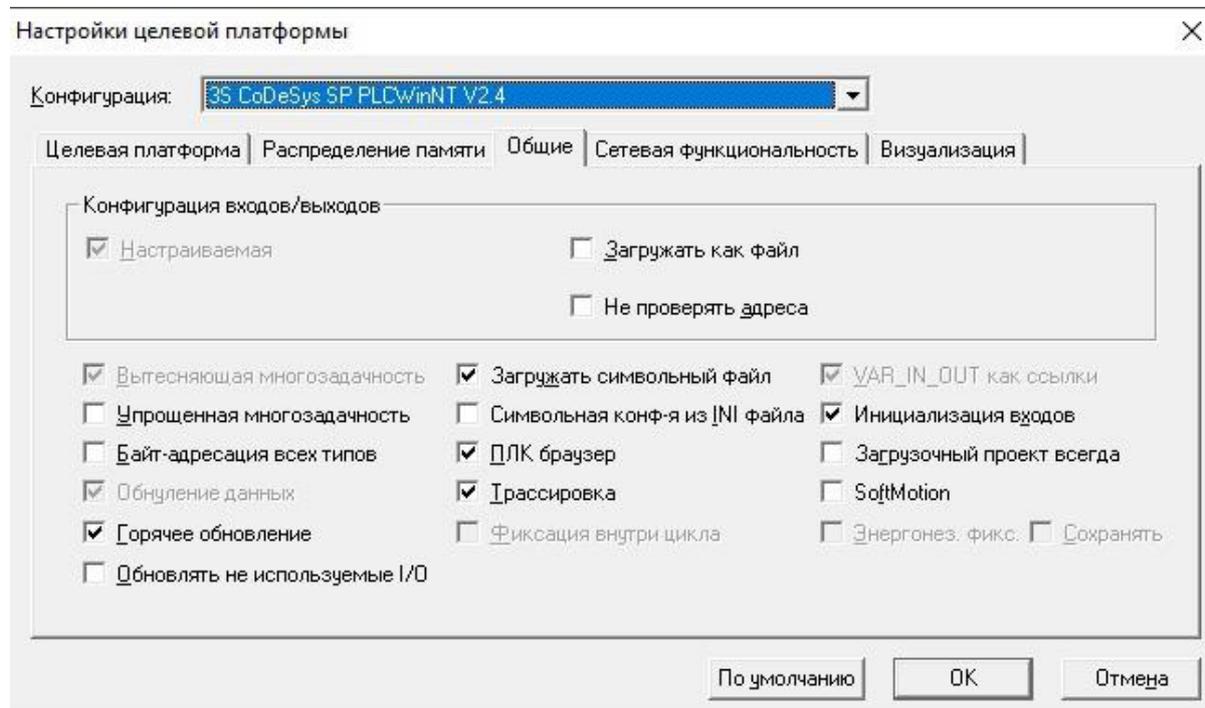


Рисунок 3.30 – Окно настройки целевой платформы

В созданном проекте в меню «Проект» - «Опции» - «Символьная конфигурация» - «Создавать описание» - «Настроить символьные конфигурации» необходимо выбрать экспортируемые переменные и выбрать пункт «Экспорт переменных проекта» (рисунок 3.31).

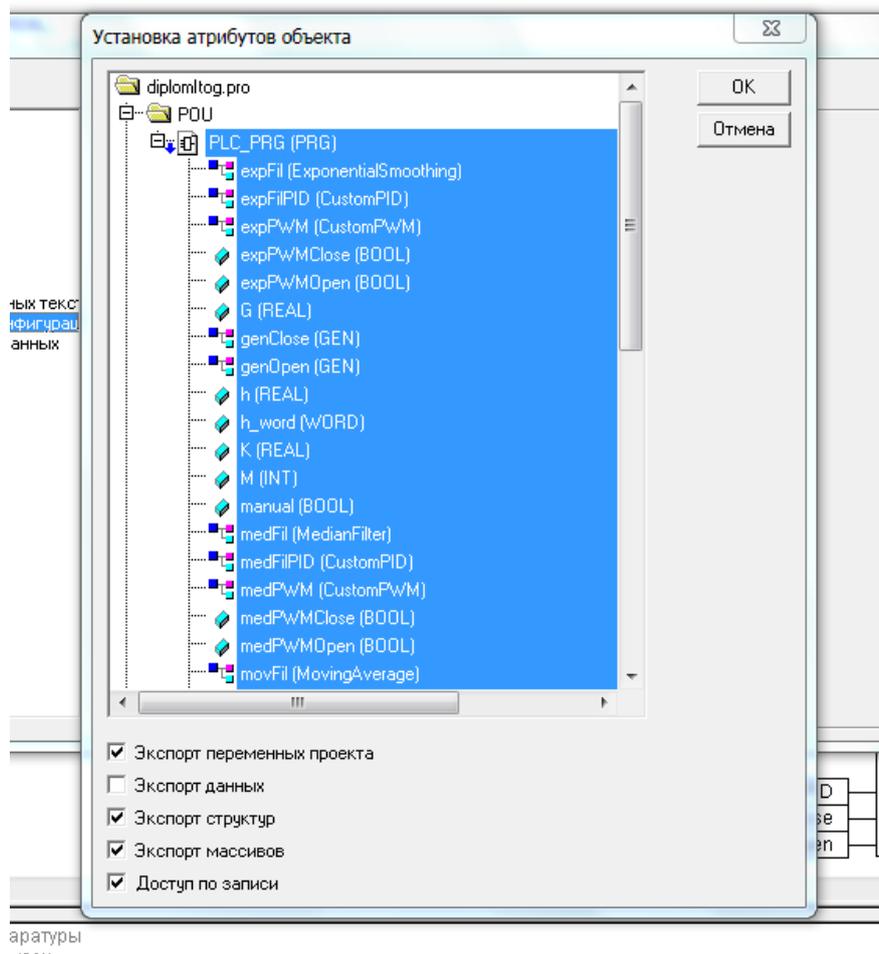


Рисунок 3.31 – Экспорт переменных

Далее необходимо погрузиться к контроллеру с заданными настройками. Далее необходимо соотнести настройки вкладки «Параметры соединения» с параметрами «Connection», предварительно созданным в программе «OPC Config». Соединение создается следующим образом: нажать на объект «Server» правой кнопкой мыши и выбрать пункт «Append PLC». Если параметры «Communication» объекта «PLC1» одинаковые, то нужно сохранить данные настройки в программе «OPC Config». После чего очистить и перекомпилировать проект в среде CoDeSys, затем запустить его на ПЛК.

Настройка соединения со стороны MasterSCADA производится следующим образом: необходимо в объект «Компьютер» вставить OPC-сервер через нажатие правой кнопкой мыши по объекту «Компьютер» и

выбор соответствующего пункта. В созданный OPC-сервер необходимо вставить OPC-переменные через меню настроек. Пример окна выбора OPC-переменных показан на рисунке 3.32.

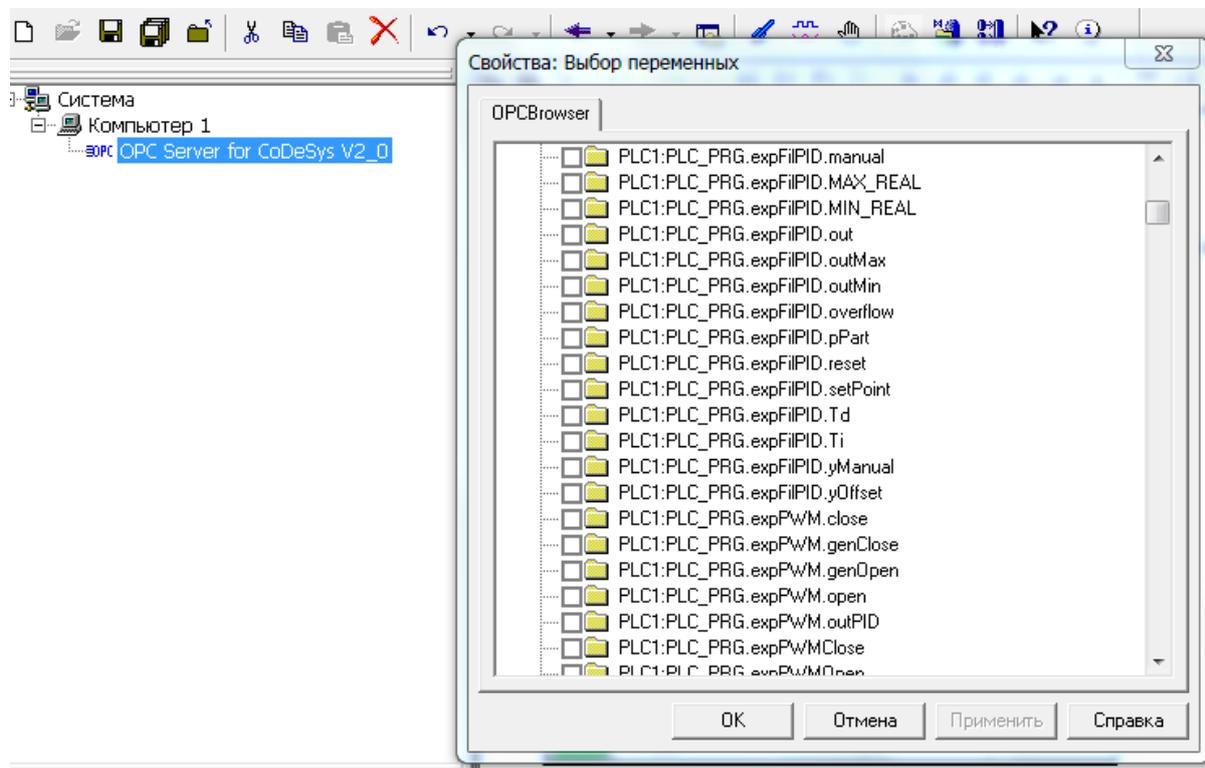


Рисунок 3.32 – Окно выбора OPC-переменных

Выбранные OPC-переменные можно соотносить с переменными MasterSCADA.

4 Удаленное взаимодействие с ПЛК ОВЕН 150

В настоящее время удаленный доступ становится незаменимым инструментом для поддержания непрерывной работы организаций. Удаленное взаимодействие позволяет быстро решать необходимые задачи. Вместе с тем удаленный доступ порождает и серьезные риски безопасности предприятия: учетные данные для доступа в сеть могут быть переданы третьим лицам или украдены; личные компьютеры пользователей, с которых производится удаленный доступ, могут быть заражены вредоносным ПО.

Рассмотрены несколько способов удаленного взаимодействия с ПЛК ОВЕН 150: удаленное обращение через статический IP-адрес, удаленное подключение посредством OpenVPN, подключение через модем ПМ-01, подключение через RDP.

4.1 Удаленное обращение через статический IP-адрес

Протокол управления передачей (Transmission Control Protocol, TCP) обеспечивает надежную доставку сообщений и определяет механизм доставки для всех данных в сети. Протокол Internet (Internet Protocol, IP) организует маршрутизацию сетевых передач от отправителя к получателю, отвечает за сетевые и компьютерные адреса. Вместе TCP и IP передают значительную часть данных в сети Internet [10].

Логическая числовая схема адресации протокола IP представляет собой набор из четырех чисел, разделенных точками. Каждое из этих чисел должно быть меньше 256 в десятичной системе, чтобы его можно было представить в виде восьми двоичных разрядов (битов). Так каждое число находится в диапазоне от 0 до 255. IP-адреса ссылаются на доменные имена, что позволяет идентифицировать ресурсы сети и получить к ним доступ. Также при каждой сетевой передаче IP-адреса преобразуются в MAC-адреса (Media Access Control – надзор за доступом

к среде; уникальный физический адрес устройства), чтобы один сетевой интерфейс можно было идентифицировать как отправителя, а другой – как получателя [10].

Есть два вида IP-адресов: статические и динамические. Каждый из этих режимов имеет свои преимущества и недостатки. При использовании статических IP-адресов не требуются дополнительные серверы, соответствие имени компьютера и IP-адреса практически никогда не изменяется. Однако при использовании статического IP-адреса параметры необходимо изменять вручную на каждом компьютере в сети и важно вести учет используемых IP-адресов, чтобы избежать конфликты. Также изменение одного или нескольких параметров IP-сети требует перенастройки TCP/IP на каждом компьютере.

Один из способов удаленного доступа к ПЛК заключается в том, что контроллер необходимо подключить напрямую к роутеру, имеющему выход в Интернет. Маршрутизатор – это устройство пакетной передачи данных, которое предназначено для объединения сегментов сети и ее элементов и служит для передачи пакетов между ними на основе каких-либо правил [11]. После подключения к маршрутизатору будет возможность удаленного обращения к ПЛК через статический IP-адрес. Для данной реализации необходимо, во-первых, добиться того, чтобы роутер нашел и отразил в списке подключенных устройств ПЛК ОВЕН 150. Далее в настройках роутера необходимо зарезервировать статический IP-адрес ПЛК, а также локальный DNS-адрес с указанием MAC-адреса. Важно, чтобы заданный IP-адрес был виден через Интернет, поэтому необходимо упростить или совсем отключить функции защиты [4]. После подключения ПЛК к роутеру и реализации необходимых настроек, пользователю необходимо установить CoDeSys и провести инсталляцию Target-файлов, которые содержат информацию о программируемых контроллерах, с которыми работает CoDeSys. Target-файл поставляется

производителями контроллера. Для загрузки созданной пользователем программы необходимо установить связь с контроллером. Настройка канала соединения с контроллером производится в окне «Communication parameters», вызываемом командой меню «Online» – «Communication parameters» в среде CoDeSys.

В данном окне необходимо выбрать интерфейс соединения TCP/IP (Level 2) для связи по интерфейсу 2 Ethernet и в параметре Address задать IP-адрес контроллера, который был определен ранее [5] (рисунок 4.1).

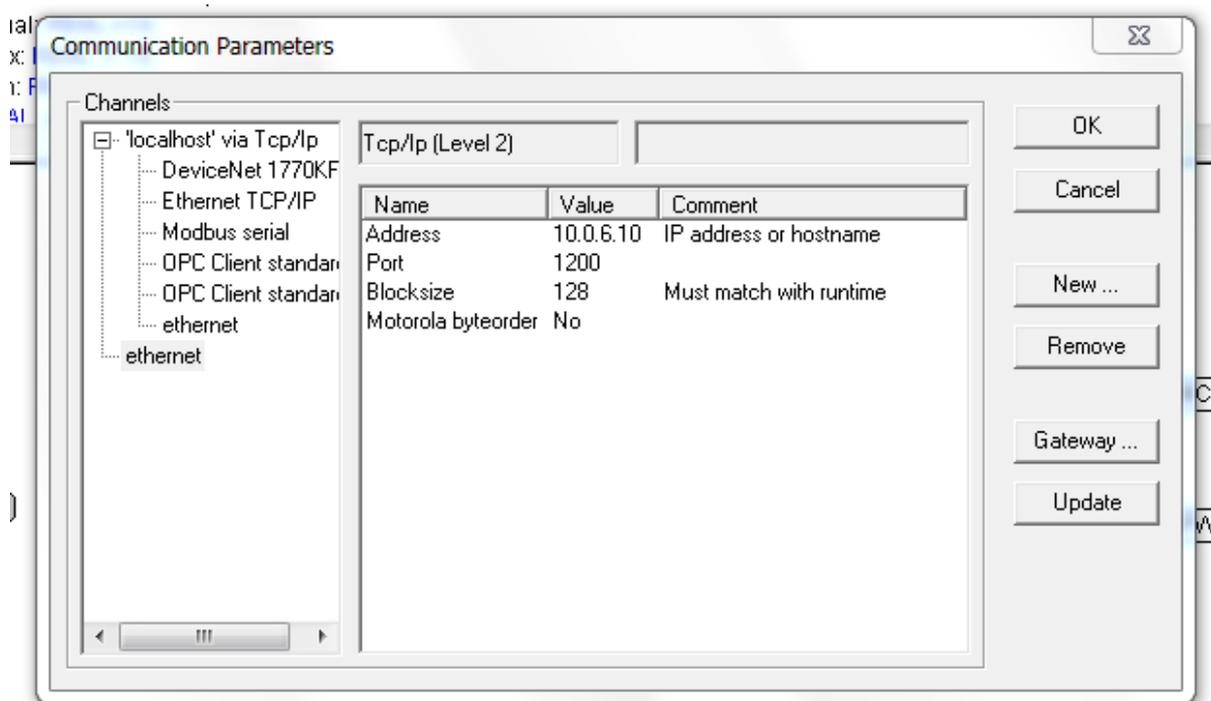


Рисунок 4.1 – Настройка соединения

4.2 Удаленное подключение посредством OpenVPN

Технология VPN (Virtual Private Network – виртуальная частная сеть) – это объединение отдельных машин или локальных сетей в виртуальной сети, которая обеспечивает целостность и безопасность передаваемых данных [12]. VPN можно также определить службу, которая создает зашифрованное соединение от устройства к VPN-серверу через Интернет-соединение [13]. Безопасность соединения обеспечивается за

счет передачи информации в зашифрованном виде. Чтение данных возможно только с помощью ключа к шифру. Также надежность обеспечивается проверкой целостности данных и идентификацией пользователей, которые задействованы в VPN. Для проверки целостности данных используются специальные алгоритмы проверки целостности данных, чтобы гарантировать, что данные дошли до адресата именно в том виде, в каком были посланы. Для построения VPN необходимо иметь на обоих концах линии связи программы шифрования, исходящего и дешифрования, входящего трафиков [12].

Принцип работы VPN заключается в том, что данный сервис создает «защищенный туннель» от устройства к VPN-серверу, а затем в Интернет. Чтобы реализовать данные шаги, сначала VPN устанавливает протокол связи с устройства. Это действие необходимо для установки границ перемещения данных с устройства на VPN-сервер [13]. Существует несколько основных протоколов VPN. Одним из таких протоколов является OpenVPN – протокол с открытым исходным кодом, который имеет среднюю скорость, обеспечивает надежную поддержку шифрования [13]. При настройке сервера с использованием OpenVPN необходимо указать порт, на котором он будет слушать запросы. А на клиенте указать IP-адрес машины, где находится сервера и порт, к которому необходимо подключиться [14]. Клиент подключается к серверу на определенный порт, и это соединение шифруется с помощью SSL (Secure Sockets Layer – уровень защищённых сокетов, криптографический протокол). Если с клиента послать пакет на сервер на любой другой порт, это соединение шифроваться не будет [14]. На сервере, помимо порта подключения, указывается диапазон IP-адресов, которые будут присваиваться клиентским машинам.

Одним из способов реализации удаленного способа подключения с использованием OpenVPN необходимы:

1. локальный компьютер, который будет являться OpenVPN сервером;
2. маршрутизатор предприятия с внешним белым IP-адресом;
3. интернет-центр с установленным клиентом OpenVPN и с подключением к мобильной связи.

В общем виде схема работы удаленного доступа к ПЛК показана на рисунке 4.2 (IP-адреса являются вымышленными).

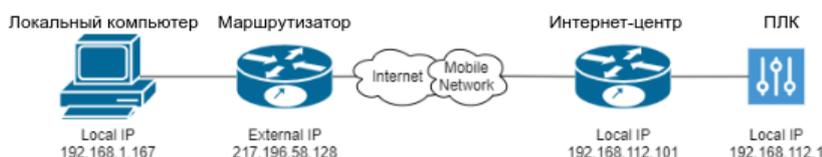


Рисунок 4.2 – Схема передачи данных с помощью OpenVPN

Первым шагом в использовании OpenVPN является установка необходимых пакетов на локальный компьютер, создание сертификатов, определение ключей клиента и сервера, конфигурация параметров сервера [15]. К необходимым пакетам относятся OpenVPN, программа для создания сертификатов. Сертификаты (сертификат удостоверяющего центра, сертификат сервера, сертификат клиента, закрытый ключ сервера, закрытый ключ клиента) необходимы для создания конфигурационного файла OpenVPN клиента и сервера. Для настройки конфигураций OpenVPN сервера необходимо определить настройки в файле с расширением «.ovpn». Настройку OpenVPN на локальном компьютере пользователя, который планирует удаленно программировать ПЛК (т.е. на клиенте) происходит аналогичным образом – через описание файла с расширением «.ovpn». Для настройки работы ПЛК посредством OpenVPN необходимо в сведениях о сетевом подключении указать адрес роутера [16].

4.3 Подключение через модем ПМ-01

СПС-900 (система передачи сообщений, global system for mobile communications, GSM) – общий стандарт мобильной связи. Данный стандарт делит каналы связи по частоте и времени. Существуют различные виды GSM оборудования, к ним относятся GSM-модемы (GSM-терминалы). Устройства, которые поддерживают стандарт GSM работают с частотами 850 МГц, 900 МГц, 1800 МГц и 1900 МГц. GSM оцифровывает и сокращает данные, а затем отправляет их по каналу с двумя разными потоками клиентских данных, каждый в своем конкретном временном интервале. Цифровая система способна передавать данные со скоростью от 64 до 120 Мбит / с. Архитектура технологии GSM включает в себя следующие элементы: подсистема связи и коммутаций (Network and Switching Subsystem, NSS), подсистема базовой станции (Base-Station Subsystem, BSS), мобильная станция (The mobile station, MS), подсистема коммутации и поддержки (Operation and Support Subsystem, OSS). NSS представляет собой сеть передачи данных, включающая в себя множество устройств, которые обеспечивают безопасность и взаимодействие всей сети. BSS можно определить, как интерфейс между NSS и MS, который отвечает за обработку протоколов мобильной связи, регистрацию оборудования связи. Мобильная станция – это мобильное оборудование, которое используется оператором. OSS отвечает за управление сетью GSM и регулирование нагрузки трафика BSS [17].

GSM-модем – это устройство, которое может быть мобильным телефоном или модемом, использующееся для обмена данными между компьютером или любым другим устройством по сети. Его можно подключить к компьютеру через последовательный порт, USB или Bluetooth [17].

Пакетная радиосвязь общего пользования (General Packet Radio Service, GPRS) – надстройка над технологией мобильной связи GSM,

которая осуществляет пакетную передачу данных. Данная технология была создана для повышения скорости передачи данных по каналам сотовой связи, обеспечения режима «постоянной подключенности» абонентов. Эти особенности позволяют обеспечивать коллективную обработку больших массивов данных, которые можно передать одним нажатием на клавишу. Технология GPRS ориентирована на применение только в сетях цифровой сотовой связи стандарта GSM, реализованных на основе метода временного разделения доступа - Time Division Multiple Access (TDMA). Суть работы метода TDMA заключается в том, что время работы одного радиоканала связи делится на стандартные по длительности временные интервалы, распределяемые по очереди между несколькими абонентами. В стандарте GSM максимальное число таких каналов равно восьми. Если есть каналы, которые свободны во время передачи данных, то абоненту будет временно выделяться время свободных каналов, в результате чего возрастает скорость передачи данных [18]. Для работы с GPRS можно воспользоваться GPRS/GSM-модемом. Данный тип модема представляет собой двухдиапазонный терминал беспроводной связи, который обладает возможностью голосовой связи и беспроводной передачи данных [19]. GPRS/GSM модем применяется в системах производственной автоматизации, торговых аппаратах, транспортных средствах, системах контроля доступа и безопасности, охранных комплексах и устройствах ограничения доступа.

Одним из видов GSM/GPRS модемов, который поддерживает работу в GPRS-режиме с контроллерами ПЛК150, является модем ОВЕН ПМ01 (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Модем ПМ01

Модем ПМ01 предназначен для удаленного обмена данными через беспроводные системы связи стандарта GSM с оборудованием, оснащенным последовательными интерфейсами связи RS232 или RS485 [20]. Модем ПМ01 при помощи интерфейса RS485 подключается к ПЛК. Другой модем ПМ01 по интерфейсу RS232 подключается к персональному компьютеру. Между двумя модемами устанавливается связь в режиме Circuit Switched Data (CSD) – звонок одного модема на другой – технология передачи данных, разработанная для мобильных телефонов стандарта GSM. В режиме CSD скорость обмена данными составляет 9,6 кбит/с. В общем виде схема организации передачи данных с помощью модема ПМ01 выглядит так, как показано на рисунке 4.4.

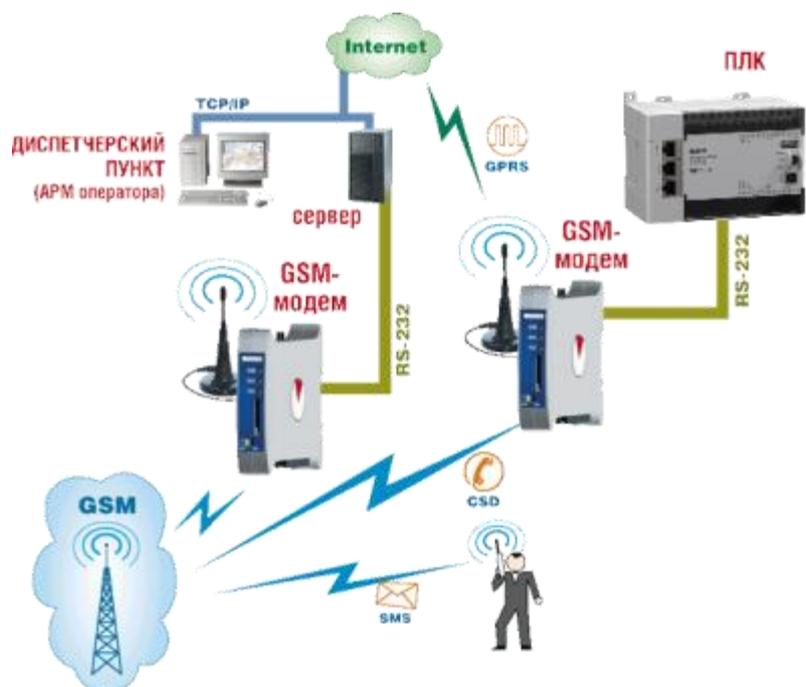


Рисунок 4.4 – Организация передачи данных с помощью ПМ01

Расстояние между модемами может быть любым, главное, чтобы в местах установки был приём сотовой связи. После предварительной настройки модемов, ПЛК и CoDeSys, появляется возможность удаленно программировать и запускать ПЛК [21]. В настройку входит описание файлов «CoDeSys.cfg» (задаёт порт подключения модема и режим его работы, переводит порт на протокол CoDeSys – Gateway), «modem.cfg» (задаёт параметры опроса модема контроллером).

4.4 Подключение через RDP

Протокол удаленного рабочего стола (Remote Desktop Protocol, RDP) – это сетевой протокол связи от Microsoft, который расширяет протокол T.128 сектора стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи (International Telecommunication Union-Telecommunication, ITU-T). Данный протокол позволяет персональным компьютерам (ПК) и устройствам, работающим под управлением любой операционной системы, подключаться друг к другу. RDP использует Интернет для связи и управления устройствами. Принцип работы

заключается в предоставлении административных прав одному устройству (клиенту) для управления другим (сервером). По умолчанию для работы задействован 3389 порт TCP или UDP (User Datagram Protocol), который пользователь может изменить при настройке ПО. На компьютере, с которого исходит запрос на подключение, должно быть запущено клиентское программное обеспечение (ПО) RDP, а на устройстве, к которому осуществляется доступ, должно быть запущено ПО сервера RDP. Последний известен как узел сеанса удаленного рабочего стола (Remote Desktop Session Host, RDSH). По умолчанию все компьютеры с Windows включают программное обеспечение сервера RDP и, таким образом, доступны для запросов на подключение. ПО клиента и сервера RDP также доступны для Linux [22].

Для реализации необходимо к компьютеру, напрямую соединенного с ПЛК, подключить сетевую карту. Сетевая карта, или Ethernet-адаптер, представляет собой интерфейсное устройство, позволяющее компьютеру взаимодействовать с другими участниками вычислительной сети. Сетевая карта часто интегрирована в материнскую плату ПК. Ethernet-адаптер отвечает за передачу двоичных данных в виде электромагнитных импульсов по настроенному каналу локальной вычислительной сети. Управление сетевой картой осуществляется при помощи драйвера, который устанавливается программным путем в операционной системе. Когда данные поступают на сетевую карту, происходит соединение блоков данных; при передаче данных от сетевой карты, происходит разъединение данных на отдельные блоки. Вместе блоки образуют Ethernet-кадр [23] (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Структура Ethernet-кадра

Ethernet-кадр					
8 байт	6 байт	6 байт	2 байта	46-1500 байт	4 байта
Преамбула	MAC-адрес получателя	MAC-адрес источника	Длина	Данные	Контрольная сумма

Преамбула Ethernet-кадра – передовая часть пакета, которая сообщает о начале пакета. Двухбайтовое поле длины определяет длину поля данных в кадре. Контрольная сумма – необходимый показатель, который свидетельствует о корректности и подлинности доставленной по сетевому каналу информации [23].

В итоге, чтобы реализовать удаленное управление ПЛК с помощью RDP, необходимо, во-первых, посредством подключения Ethernet реализовать выход в Интернет. Далее пользователю необходимо через RDP подключаться к компьютеру, который напрямую подключен к ПЛК, и затем приступать к управлению ПЛК.

4.5 Достоинства и недостатки рассмотренных способов удаленного подключения

Были рассмотрены следующие методы удаленного управления ПЛК: удаленное обращение через статический IP-адрес, удаленное подключение посредством OpenVPN, подключение через модем ПМ-01, подключение через RDP. Чтобы выбрать для использования один из этих методов, необходимо рассмотреть достоинства и недостатки (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Достоинства и недостатки

Метод	Достоинства	Недостатки
Удаленное обращение через статический IP-адрес	Простота настройки	Отсутствие защиты от атак
Удаленное подключение посредством OpenVPN	Безопасность	Сложная настройка подключения
Подключение через модем ПМ01	Защита от зависания, защита от атак	Необходимость приобретения пользователем модема, дороговизна соединения
Подключение через RDP	Простота настройки	Медленный обмен данными из-за нестабильности связи

На основе достоинств и недостатков методов, можно предположить, что самым оптимальным вариантом является использование удаленного обращение через статический IP-адрес, так как пользователям будет просто настроить соединение, будет отсутствовать медленный обмен данными или потеря данных как в случае подключения RDP. Однако в настоящее время при создании и загрузке проекта в ПЛК полностью отсутствует авторизация, что сильно увеличивает риски аварийных ситуаций при работе с ПЛК. Исходя из этого, выбрано подключение через RDP.

4.6 Реализация подключения по RDP

В каждой операционной системе Windows есть встроенное приложение для подключения по RDP – программа «Подключение к удалённому рабочему столу» (Remote Desktop Connection). Чтобы запустить данную программу, необходимо перейти по следующему пути: «Пуск» - «Программы» - «Стандартные» - «Подключение к удалённому

рабочему столу». Также данную программу можно запустить через диалоговое окно «Выполнить». Чтобы вызвать данное окно, необходимо нажать комбинацию клавиш «Win + R». После чего ввести команду «mstsc» (рисунок 4.5).

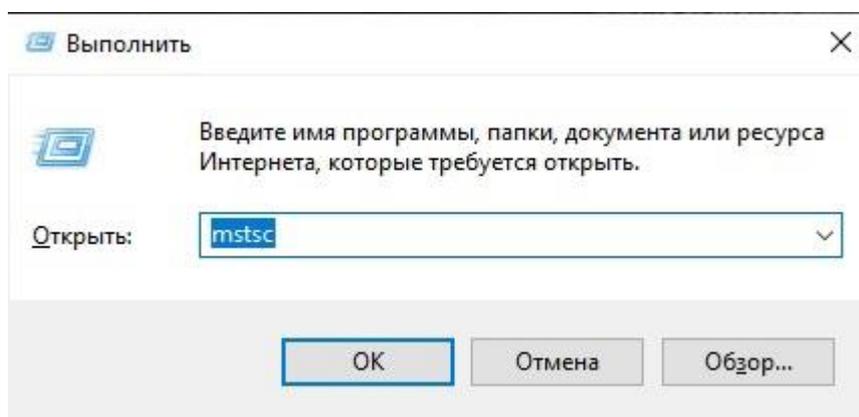


Рисунок 4.5 – Окно программы «Выполнить»

После выполнения данных действий откроется окно программы «Подключение к удалённому рабочему столу» (рисунок 4.6).

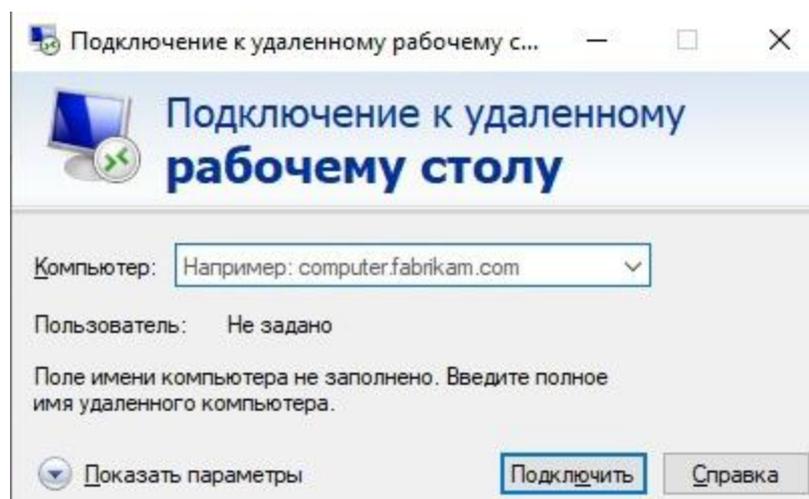


Рисунок 4.6 – Окно программы «Подключение к удалённому рабочему столу»

В открывшемся окне необходимо ввести IP-адрес виртуального сервера, имя пользователя и нажать кнопку «Подключить».

Также данная программа позволяет создавать готовый файл подключения, в котором уже будут сохранены все нужные настройки для

авторизации на сервере. Данный функционал открывается с помощью вкладки «Показать параметры» (рисунок 4.7).

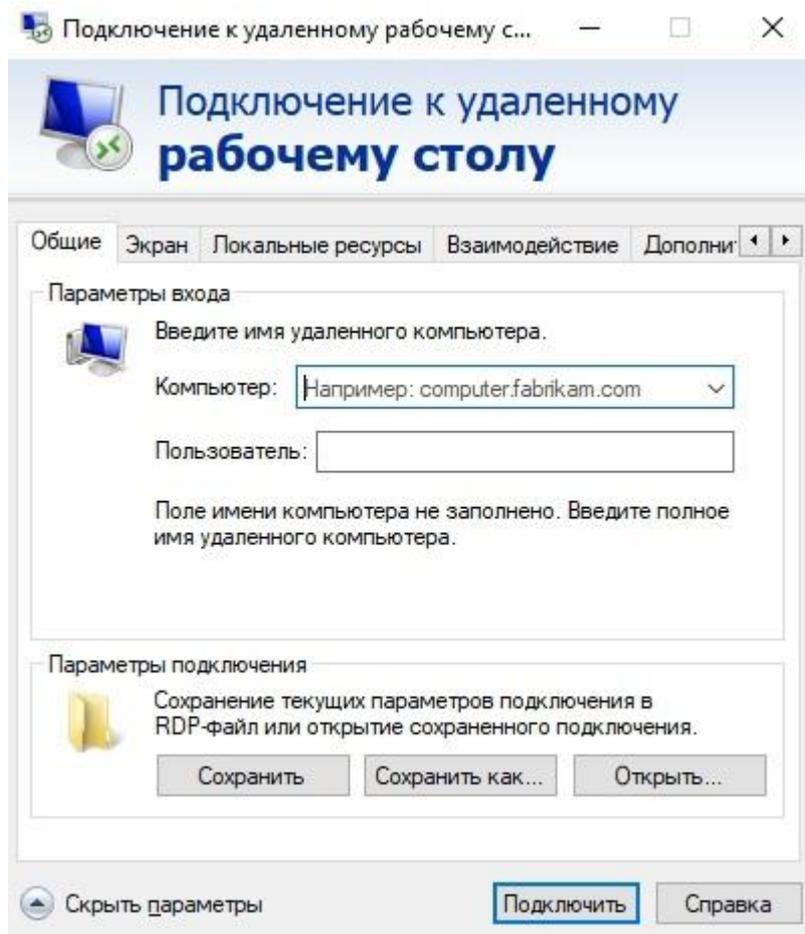


Рисунок 4.7 – Открытие дополнительных параметров

Чтобы создать ярлык для подключения к серверу, необходимо во вкладке «Параметры подключения» выбрать пункт «Сохранить» или «Сохранить как...», после чего будет произведено создание и сохранение ярлыка подключения, который можно будет запускать без дополнительного запуска программы «Подключение к удалённому рабочему столу» и ввода IP-адреса.

Для подключения к серверу, с которого будет происходить управление контроллером ПЛК150, необходимо ввести IP-адрес 109.123.162.179 и имя пользователя «Student». Имя пользователя должно быть заранее согласовано с системным администратором организации, так как для работы по RDP с компьютером в учебной аудитории необходимо

предоставление дополнительных прав пользователю. Окно ввода данных показано на рисунке 4.8.

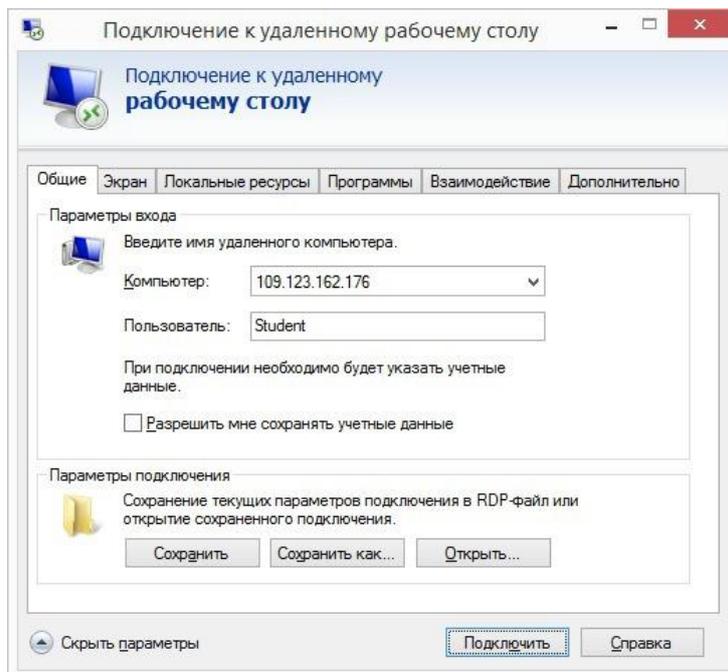


Рисунок 4.8 – Ввод параметров входа

После подключения необходимо ввести пароль (рисунок 4.9).

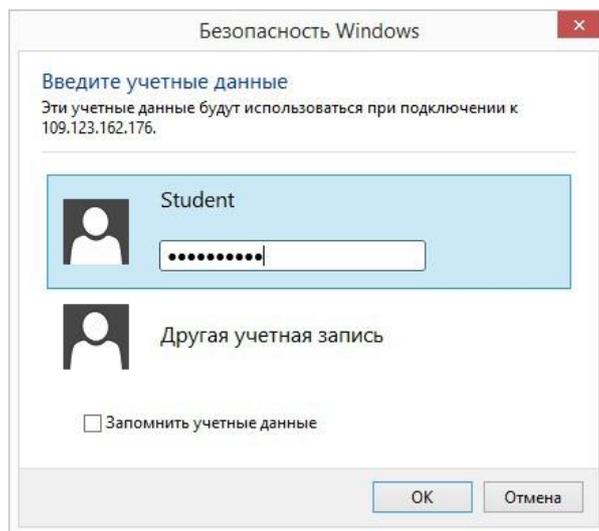


Рисунок 4.9 – Окно ввода пароля

Далее можно проводить необходимую работу с ПЛК150 (рисунок 4.10).

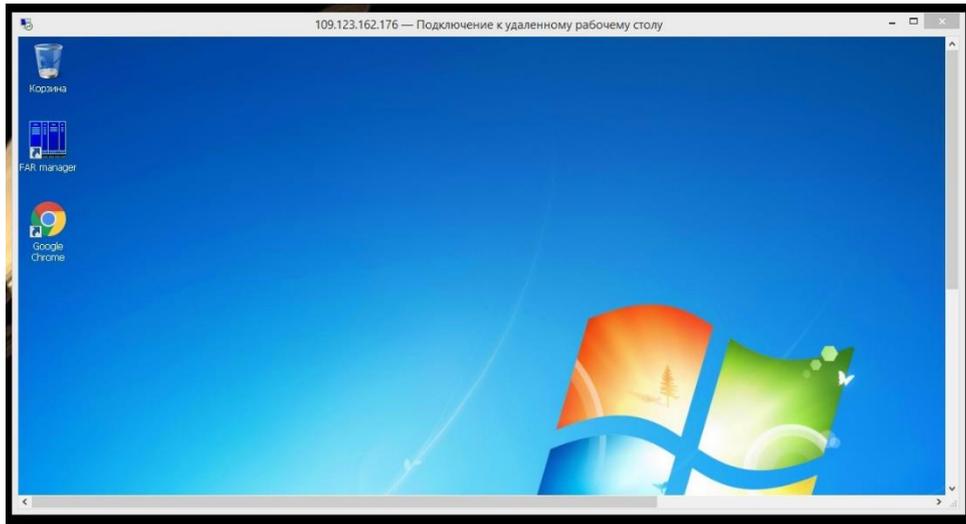


Рисунок 4.10 – Вид удаленного рабочего стола

5 Лабораторный комплекс для изучения работы САУ с использованием ШИМ на базе PLC150

5.1 Программная реализация алгоритмов фильтрации сигнала

5.1.1 Экспоненциальное сглаживание

Алгоритм экспоненциального сглаживания реализован в среде CoDeSys на языке ST в виде функционального блока. Входными значениями данного функционального блока являются настроечный параметр g и входное значение сигнала в конкретный момент времени. Выходное значение – отфильтрованное значение сигнала в данный момент времени. Код, реализующий экспоненциальное сглаживание, предоставлен в листинге В.1.

5.1.2 Фильтр скользящего среднего

Фильтр скользящего среднего представлен в виде функционального блока в среде CoDeSys, который написан на языке ST. Предварительно значения обрабатываемого сигнала сохраняются в массив с помощью функционального блока WriteArray (листинг В.2).

Сформированный массив и настроечный параметр N подаются на функциональный блок, реализующий алгоритм фильтрации скользящего среднего. До тех пор, пока не накопится N значений входного сигнала, выходной сигнал будет равен входному значению. Как только будет накоплено необходимое количество данных, то вычисляется среднее для N последних данных, которое и является отфильтрованным значением сигнала в данный момент времени. Код фильтра, алгоритм которого основывается на скользящем среднем, приведен в листинге В.3.

5.1.3 Медианный фильтр

Функциональный блок, представляющий собой медианный фильтр, написан на языке ST в среде CoDeSys. Для работы данного

функционального блока необходимо сохранять значения фильтруемого сигнала. Для этого используется функциональный блок, код которого представлен в листинге В.2. Также для корректной работы необходима реализация сортировки. Была рассмотрена сортировка пузырьком (листинг В.4).

В результате на вход функционального блока медианного фильтра подается значение настроечного параметра M и массив значений сигнала, который необходимо отфильтровать. Для правильной реализации алгоритма необходимо определять четность настроечного параметра M – если нечетное число, то на выход поступает элемент «окна», находящийся в середине; если параметр M – четное число, то выходное значение представляет собой среднее двух значений, образующих «сердину» окна. Также необходимо сортировать входной массив. Реализация медианного фильтра приведена в листинге В.5.

5.2 Программная реализация алгоритма ПИД-регулирования

Для разработки функционального блока на языке ST, реализующего выработку управляющего воздействия согласно алгоритму ПИД-регулирования с зависимыми настройками использовалась формула 5.1.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (5.1)$$

где $u(t)$ – управляющий сигнал;

$e(t)$ – текущая ошибка;

K_p – пропорциональный коэффициент;

K_i – интегральный коэффициент;

K_d – дифференциальный коэффициент.

Разработанный функциональный блок помимо автоматического режима, описанного выше, имеет и ручной режим управления – выходное значение блока в данном режиме равно заданному вручную значению. Также учтено переполнение, которое может возникнуть из-за интегральной части. Для реализации интегрирования использовался функциональный блок INTEGRAL из библиотеки Util. Для дифференцирования – функциональный блок DERIVATIVE из библиотеки Util.

Код, реализующий алгоритм ПИД-регулирования приведен в листинге В.6.

5.3 Программная реализация алгоритма ШИМ

Для управления работы ШИМ сформированы пилообразные сигналы, которые отвечают за определение момента включения и отключения ШИМ. Данные пилообразные сигналы зависят от параметров ПИД-регулятора, т. к. обычно в схеме управления ПИД-регулятор и ШИМ работают сообща. Для определения времени, когда ШИМ включен/выключен, использовался следующий алгоритм: если выход с блока ПИД больше либо равен значению пилообразного сигнала в положительной области, то ШИМ должен быть открыт; если выход с блока ПИД меньше либо равен значению пилообразного сигнала в отрицательной области, то ШИМ должен быть закрыт (рисунок 5.1).

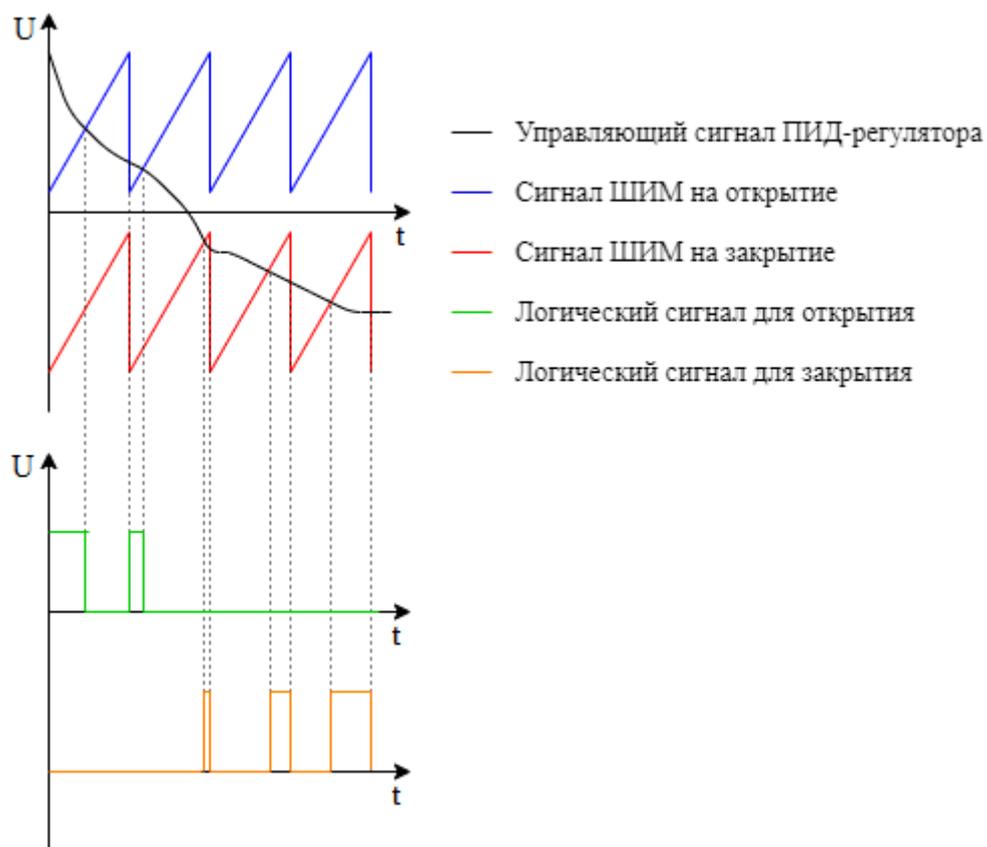


Рисунок 5.1 – Широтно-импульсная модуляция

Данный алгоритм реализован в функциональном блоке CustomPWM (листинг В.7).

5.4 Программа визуализации работы САУ, работающей на основе ШИМ

Программа визуализации выполнена в пакете Master SCADA и построена на основе созданной в среде CoDeSys программы ШИМ.

Переменные программы визуализации ссылаются на переменные соответствующей программы в системе CoDeSys посредством OPC сервера.

Для реализации программы были использованы следующие функциональные возможности пакета MasterSCADA:

- графические элементы;
- переход на мнемосхему;

- кнопки;
- цветные индикаторы;
- команды.

Стартовая мнемосхема, на которой можно задавать настройки ПИД-регулятора изображена на рисунке 5.2.

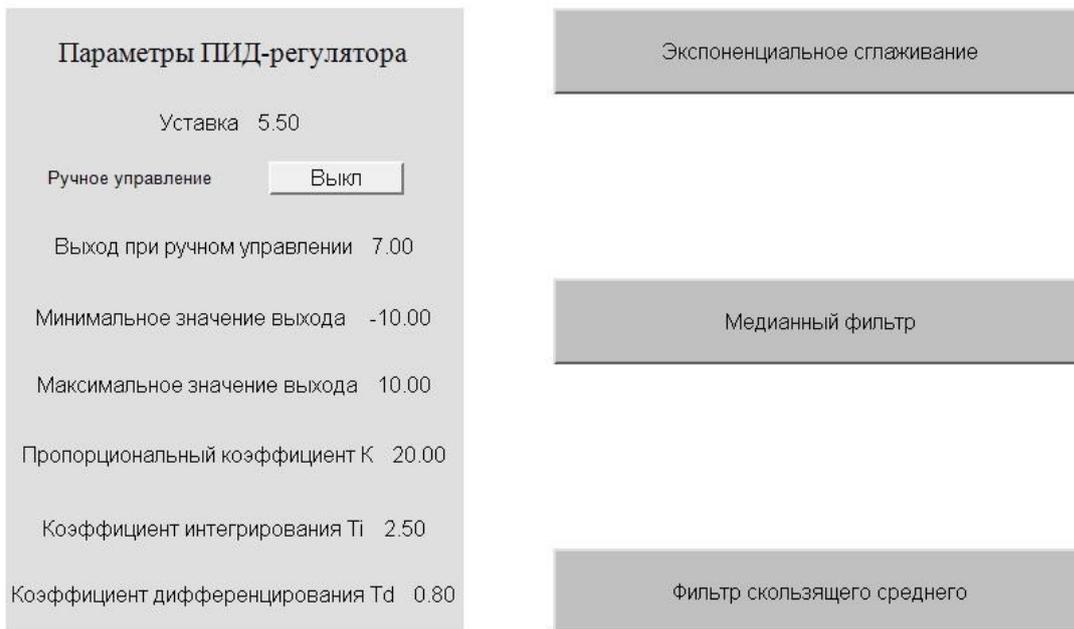


Рисунок 5.2 – Стартовая мнемосхема

Мнемосхема, отображающая работу программы, использующую в качестве фильтрации алгоритм экспоненциального сглаживания, изображена на рисунке 5.3.

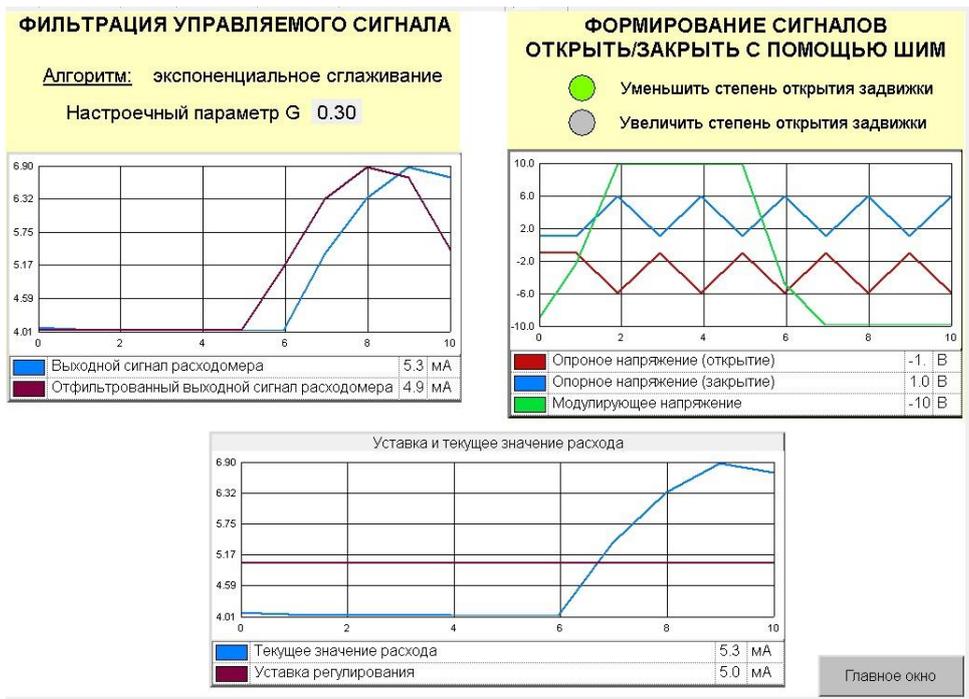


Рисунок 5.3 – Экспоненциальное сглаживание, ПИД, ШИМ

На рисунке 5.4 изображена мнемосхема программы, которая использует алгоритмы ПИД, ШИМ и медианный фильтр.



Рисунок 5.4 – Медианный фильтр, ПИД, ШИМ

Мнемосхема программы, которая основывается на использовании фильтра скользящего среднего, ПИД и ШИМ, изображена на рисунке 5.5.

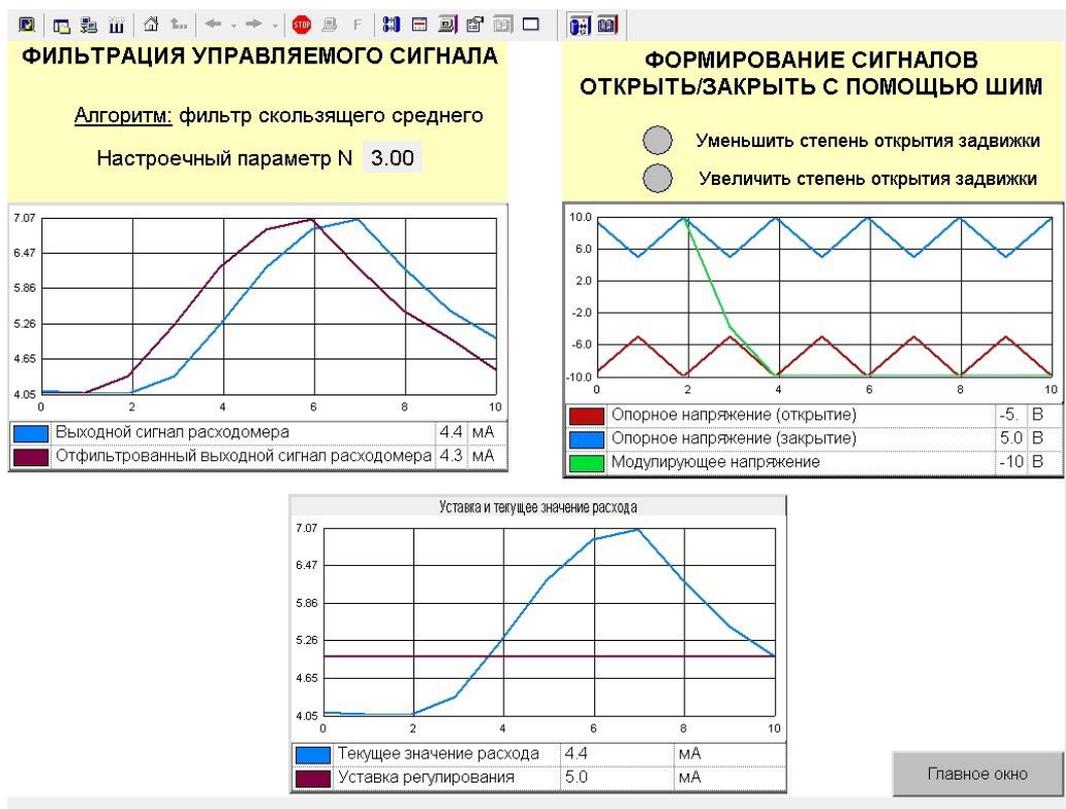


Рисунок 5.5 – Фильтр скользящего среднего, ПИД, ШИМ

6 Методическое обеспечение для изучения работы САУ с использованием ШИМ на базе PLC150

В данное методическое обеспечение входят методические указания по реализации системы автоматического управления с использованием ШИМ в среде CoDeSys на базе контроллера PLC150, а также методические указания по визуализации этих систем с применением пакета MasterSCADA.

6.1 Реализация алгоритмов фильтрации сигналов

Полный текст данных методических указаний представлен в приложении Г данной выпускной квалификационной работы.

В настоящем разделе дается краткое описание выполняемой лабораторной работы с использованием разработанных методических указаний.

Целью работы является знакомство с удаленным способом взаимодействия с PLC150, создание проекта в среде CoDeSys, настройка входов/выходов контроллера в среде CoDeSys. Помимо этого, одной из целей работы является реализации программы в среде CoDeSys для фильтрации входных сигналов.

В теоретической части методических указаний кратко описываются алгоритмы фильтрации и элементы среды CoDeSys, которые будут необходимы для реализации программы.

Заданием на выполнение лабораторной работы предусмотрено удаленное подключение для управления PLC150, создание и настройка проекта в среде CoDeSys, реализация заданного алгоритма фильтрации сигнала, проверка написанной программы в режиме эмуляции.

В качестве результата выполнения лабораторной работы является исследование среды CoDeSys, реализация алгоритма фильтрации и ответы на следующие контрольные вопросы:

1. Какие текстовые языки описаны в стандарте МЭК 61131?
2. Какие графические языки описаны в стандарте МЭК 61131?
3. Каким наблюдениям придается больший вес, если настроечный параметр алгоритма экспоненциального сглаживания близок к 1?
4. На чем основывается алгоритм скользящего среднего?
5. Если настроечный параметр медианного фильтра является четным числом, то как определяется выходное значение фильтра?

Ответы на данные вопросы позволяют оценить полученные знания, а созданная программа позволяет оценить практические навыки, полученные в процессе выполнения работы.

6.2 Реализация алгоритма ПИД-регулирования

Полный текст данных методических указаний представлен в приложении Д данной выпускной квалификационной работы.

В настоящем разделе дается краткое описание выполняемой лабораторной работы с использованием разработанных методических указаний.

Целью работы является изучение алгоритма ПИД-регулирования, изучение встроенного блока ПИД, собственная реализация алгоритма ПИД-регулирования.

В теоретической части методических указаний кратко описываются алгоритм ПИД-регулирования и элементы среды CoDeSys, которые будут необходимы для реализации программы.

Заданием на выполнение лабораторной работы предусмотрена собственная реализация алгоритма ПИД-регулирования, изучение и использование встроенного блока ПИД, проверка написанной программы в режиме эмуляции.

В качестве результата выполнения лабораторной работы является исследование алгоритма ПИД-регулирования, реализация алгоритма ПИД-регулирования, использование встроенного блока ПИД и ответы на следующие контрольные вопросы:

1. Сколько значений функции используется для вычисления ее производной при использовании блока DERIVATIVE?
2. По какой формуле рассчитывается выходное значение блока интегрирования INTEGRAL?
3. Из каких частей формируется управляющий сигнал ПИД-регулятора?
4. За что отвечает пропорциональная часть ПИД-регулятора?
5. За что отвечает интегральная часть ПИД-регулятора?
6. За что отвечает дифференциальная часть ПИД-регулятора?

Ответы на данные вопросы позволяют оценить полученные знания, а созданная программа позволяет оценить практические навыки, полученные в процессе выполнения работы.

6.3 Реализация алгоритма ШИМ

Полный текст данных методических указаний представлен в приложении Е данной выпускной квалификационной работы.

В настоящем разделе дается краткое описание выполняемой лабораторной работы с использованием разработанных методических указаний.

Целью работы является изучение алгоритма ШИМ, собственная реализация алгоритма ШИМ.

В теоретической части методических указаний кратко описываются алгоритм ШИМ и элементы среды CoDeSys, которые будут необходимы для реализации программы.

Заданием на выполнение лабораторной работы предусмотрена собственная реализация алгоритма ШИМ, проверка написанной программы.

В качестве результата выполнения лабораторной работы является исследование алгоритма ШИМ, реализация алгоритма ШИМ и ответы на следующие контрольные вопросы:

1. Что такое ШИМ?
2. Объясните принцип работы ШИМ дискретного типа.
3. Изобразите график изменения выходов ШИМ, если входные параметры ШИМ имеют вид, изображенный на рисунке 6.1.

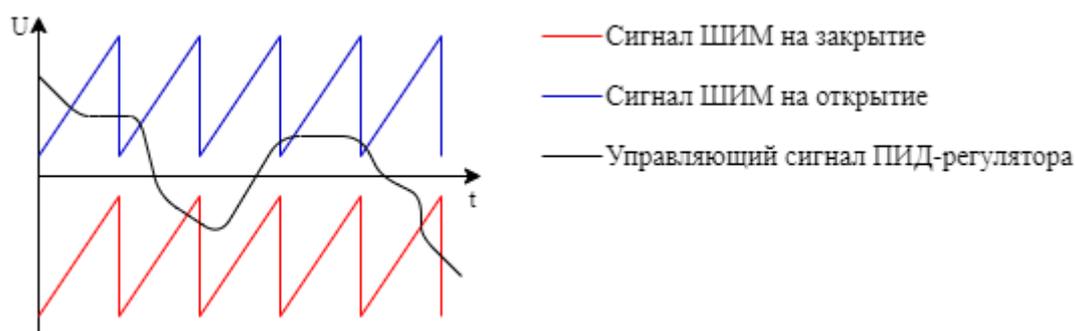


Рисунок 6.1 – Входные значения ШИМ

Ответы на данные вопросы позволяют оценить полученные знания, а созданная программа позволяет оценить практические навыки, полученные в процессе выполнения работы.

6.4 Разработка программы визуализации САУ, работающей на основе ШИМ в среде MasterSCADA

Полный текст данных методических указаний представлен в приложении Ж данной выпускной квалификационной работы.

Целью работы является создание программы визуализации САУ, работающей на основе регулирования ШИМ в пакете MasterSCADA. Получение практических навыков работы со SCADA-системой.

В теоретической части методических указаний кратко описываются функциональные возможности пакета MasterSCADA, приводится пример настройки OPC сервера для связи программы с CoDeSys приложением, показываются виды окон, используемых при работе с пакетом и необходимый перечень действий по созданию, редактированию и загрузке программы.

Заданием на выполнение лабораторной работы предусмотрено реализовать программу визуализации САУ, работающей на основе регулирования ШИМ и, изменяя значения параметров системы, проследить за качеством управления при помощи трендов и индикаторов. Добиться наилучшего режима работы.

В качестве результата выполнения работы является исследование системы и ответы на следующие контрольные вопросы:

1. Какие функциональные возможностями пакета MasterSCADA использовались при создании программы?
2. Какие библиотечные объекты палитры элементов использовались при создании программы?
3. Какой элемент дерева «Объект» служит для отображения измеренного значения?
4. Какой элемент дерева «Объект» служит для передачи введенного значения от органа управления мнемосхемы?
5. Как осуществлялась связь программы с контроллером и приложением CoDeSys?

Ответы на данные вопросы позволяют оценить полученные знания, а созданная программа позволяет оценить практические навыки, полученные в процессе выполнения работы.

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

7.1 Технико-экономическое обоснование НИР

Важным этапом в разработке научно-технического проекта является технико-экономическое обоснование, которое позволяет выделить преимущества и недостатки разработки, внедрение и эксплуатации продукта. При этом должны учитываться состояние рынка, экономической и социальной обстановки в обществе, а также степень развития науки и техники.

7.2 Обоснование необходимости и актуальности разработки

В настоящее время непрерывно увеличивается число задач, при решении которых является необходимым применение концепций и технологий на основе систем автоматического регулирования. Данные системы обеспечивают заданное соответствие между входными и выходными величинами, улучшают функционирование управляемого объекта.

Полученные в соответствии с основными принципами функционирования САУ комплекс программ позволяют создавать унифицированные алгоритмы для ПЛК, чтобы производить эффективное управление и регулирование различными технологическими процессами.

Разработанные в данной работе библиотечные элементы в дальнейшем могут быть использованы для решения широкого класса задач управления и контроля параметров технологического процесса, где используются процесс управления мощностью, идущей к нагрузке, методом изменения скважности импульсов постоянной частотности.

Внедрение данной разработки в производство позволит удешевить создание алгоритмов управления САУ, а значит и сам технологический процесс и обеспечить устойчивое управление процессом.

7.3 Организация и планирование комплекса работ

Перед разработкой научно-исследовательского проекта необходимо провести планирование комплекса работ, тем самым сформировать перечень работ, которые необходимы для выполнения научно-исследовательской работы. Также в данный этап входит определение участников проекта, установление продолжительности выполнения каждой работы, построение линейного графика.

Для построения линейного графика вся работа разбивается на этапы, содержание и исполнители которых представлены в таблице 3.1.

7.3.1 Трудоемкость выполнения работ

Трудоемкость выполнения работ определяется как сумма трудоемкости этапов и видов работ, оцениваемых экспертным путем в человеко-днях. Данный показатель носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов, поэтому ожидаемое значение трудоемкости $t_{ОЖ}_i$ рассчитывается по формуле 7.1.

$$t_{ОЖ}_i = \frac{3 \cdot t_{\min}_i + 2 \cdot t_{\max}_i}{5}, \quad (7.1)$$

где $t_{ОЖ}_i$ – трудоемкость выполнения отдельных видов работ, дни;

t_{\min}_i – минимально возможная трудоемкость выполнения отдельных видов работ, дни;

t_{\max}_i – максимально возможная трудоемкость выполнения отдельных видов работ, дни.

7.3.2 Календарный план работ

При составлении плана комплекса работ рассматривались сетевые и линейные методы планирования. Так как данная НИР имеет небольшой

штаб исполнителей (состоит из руководителя проекта на кафедре и студента-дипломника), целесообразно использовать линейный метод планирования.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем их перевести в календарные дни.

Расчет длительности работ в рабочих днях осуществляется по формуле 7.2.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ож_i}}{Ч_i}, \quad (7.2)$$

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

$t_{ож_i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, дни.;

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

Для перевода рабочих дней в календарные используется формула 7.3:

$$T_{k_i} = T_{p_i} \cdot k_{кал}, \quad (7.3)$$

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

T_{p_i} – продолжительность выполнения работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности $k_{кал}$ определяется по формуле 7.4.

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{пp} - T_{вых}}, \quad (7.4)$$

где $T_{кал}$ – число календарных дней в году ($T_{кал} = 365$);

$T_{пp}$ – число праздничных дней в году;

$T_{вых}$ – число выходных дней.

Суммарно праздничных и выходных дней – 122 дня.

Таким образом коэффициент календарности равен:

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 122} = 1,5.$$

Расчетные значения сведены в таблицу 7.1, на основании которой построен линейный график.

Таблица 7.1 – Временные показатели осуществления комплекса работ

№ раб.	Продолжительность работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{p_i}	Длительность работ в календарных днях T_{k_i}
	t_{min_i} , дни	t_{max_i} , чел- дни	$t_{ож_i}$, чел- дни			
1	2	3	2,4	Р*, С*	1	2
2	3	4	3,4	Р, С	2	3
3	4	5	4,4	Р, С	2	3
4	2	3	2,4	С	2	3
5	1	2	1,4	С	1	2
6	1	2	1,4	С	1	2
7	2	3	2,4	С	2	3
8	2	3	2,4	С	2	3
9	2	3	2,4	С	2	3
10	4	5	4,4	С	4	6
11	6	8	6,8	Р, С	3	5

Продолжение таблицы 7.1

№ раб.	Продолжительность работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{p_i}	Длительность работ в календарных днях T_{k_i}
	t_{\min_i} , дни	t_{\max_i} , чел-дни	$t_{оэж_i}$, чел-дни			
12	5	8	6,2	С	6	9
13	5	7	5,8	С	6	9
14	5	7	5,8	С	6	9
15	5	7	5,8	С	6	9
16	7	9	7,8	Р, С	4	6
17	5	7	5,8	Р, С	3	5
18	11	14	12,2	С	12	18
19	5	7	5,8	С	6	9
20	4	5	4,4	С	4	6
21	7	8	7,4	С	7	11
22	2	3	2,4	С	2	3
23	1	2	1,4	С	1	2
Р – руководитель проекта на кафедре; С – студент-дипломник.						

7.3.3 Календарный план-график работ

Диаграмма Ганта – календарный план-график работ, оформленный в виде линейного графика. На данной диаграмме работы по теме

отображаются протяженными во времени отрезками, имеющими дату начала и окончания выполнения работ. График построен с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период дипломирования. Работы на графике выделены разным цветом в зависимости от ответственных исполнителей (рисунок 3.1).

7.4 Бюджет научно-исследовательской работы

Чтобы определить стоимость предлагаемой разработки, необходимо учесть затраты на специальное оборудование, основную заработную плату исполнителей, дополнительную заработную плату исполнителей, страховые отчисления, накладные расходы.

7.4.1 Затраты на специальное оборудование

Для выполнения данной работы необходимы ПК150 и персональный компьютер. Так как данное оборудование имеется в организации, то необходимо учесть только амортизационные отчисления.

Амортизацию можно определить по формуле 7.5.

$$A = C_{перв} \cdot \frac{H_a}{100\%}, \quad (7.5)$$

где A – ежегодная сумма амортизационных отчислений;

$C_{перв}$ – первоначальная стоимость объекта;

H_a – норма амортизации.

Норма амортизации рассчитывается по формуле 7.6:

$$H_a = \frac{1}{n} \cdot 100\%, \quad (7.6)$$

где n – срок полезного использования в месяцах.

Расчет затрат на специальное оборудование приведен в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Затраты на специальное оборудование

Наименование	Первоначальная стоимость, $C_{перв}$	Срок полезного использования, n	Норма амортизации, H_a	Ежегодная амортизация, A	Ежемесячная амортизация	Амортизация за срок выполнения проекта
Персональный компьютер	60000	36	2,78	1666,67	138,89	694,44
ПЛК150	16000	48	2,08	333,33	27,78	138,89
Итого						833,33

7.4.2 Основная заработная плата

В данную статью включается основная заработная плата руководителя проекта на кафедре и студента-дипломника, который является лаборантом. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Для подсчета основной заработной платы используется формула 7.7.

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (7.7)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 7.8.

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D}, \quad (7.8)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

F_D – действительный годовой фонд рабочего времени научно-

технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника определяется по формуле 7.9.

$$Z_M = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{нр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (7.9)$$

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

$k_{\text{нр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

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

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Основная заработная плата

Исполнитель	$Z_{\text{тс}}$	$k_{\text{нр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	Z_M	$Z_{\text{дн}}$	$T_{\text{р}}$	$Z_{\text{осн}}$
Руководитель проекта на кафедре	36174,0	0,3	0,4	1,3	79944,5	3366,1	16,0	53857,4
студент-дипломник (ассистент)	18000,0	0,3	0,2	1,3	35100,0	1477,9	85,0	125621,1
Итого								179478,5

7.4.3 Дополнительная заработная плата

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле 7.10.

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (7.10)$$

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

Расчет дополнительной заработной платы приведен в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Дополнительная заработная плата

Исполнитель	$Z_{осн}$	$k_{доп}$	$Z_{доп}$
Руководитель проекта на кафедре	53857,37	0,12	6462,88
Студент-дипломник (ассистент)	125621,05	0,12	15074,53
Итого			21537,41

7.4.4 Отчисления на социальные нужды

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы 7.11.

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (7.11)$$

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

Расчет отчислений во внебюджетные фонды представлен в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Отчисления на социальные нужды

Исполнитель	$Z_{осн}$	$Z_{доп}$	$k_{внеб}$	$Z_{внеб}$
Руководитель проекта на кафедре	53857,37	6462,88	30,20	18216,72
студент-дипломник (ассистент)	125621,05	15074,53	30,20	42490,06
Итого				60706,78

7.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется для данного проекта как сумма основных статей (затраты на специальное оборудование, затраты на основную заработную плату, затраты на дополнительную заработную плату, отчисления во внебюджетные фонды) умноженная на коэффициент, который учитывает накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

7.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Расчет бюджета затрат

Наименование статьи	Сумма, руб
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	833,33
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	179478,43
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	21537,41
Отчисления во внебюджетные фонды	60706,78
Накладные расходы	42008,95
Итого	304564,90

7.5 Оценка научного уровня

Данная работа направлена на получение студентами новых знаний и навыков программирования алгоритмов управления САУ. Также данная работа подразумевает анализ студентами полученных результатов исследований. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что в качестве оценки научного уровня проекта целесообразно выбрать оценку научно-технического уровня. Данный показатель характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается ли научно-технический прогресс в данной области.

Показатель научно-технического уровня определяется по формуле 7.12.

$$H_m = \sum(K_i + P_i), \quad (7.12)$$

где H_m – показатель научно-технического уровня;

K_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

P_i – количественная оценка i -го признака научно-технического уровня работы.

Весовые коэффициенты K_i научно-технического эффекта отображены в таблице 7.7.

Таблица 7.7 – Весовые коэффициенты признаков научно-технического эффекта

Признак научно-технического эффекта	Значение весового коэффициента
Уровень новизны	0,6
Теоретический уровень	0,4
Возможные реализации	0,2

Количественная оценка уровня новизны научно-исследовательской работы определяется на основе значения баллов по таблице 7.8.

Таблица 7.8 – Количественная оценка уровня новизны

Уровень новизны разработки	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Результаты исследований открывают новое направление в данной области науки и техники	8 – 10
Новая	По новому или впервые объяснены известные факты, закономерности	5 – 7
Относительно новая	Результаты исследований систематизируют и обобщают имеющиеся сведения, определяют пути дальнейших исследований	2 – 4
Традиционная	Работа выполнена по традиционной методике, результаты которой носят информационный характер	1
Не обладающая новизной	Получен результат который ранее был известен	0

Основываясь на таблице 7.8, количественная оценка уровня новизны данного научно-исследовательского проекта равняется 3, так как данная разработка является относительно новой.

Теоретический уровень полученных результатов научно-исследовательской работы определяется на основе значений баллов, приведенных в таблице 7.9.

Таблица 7.9 – Количественная оценка теоретического уровня

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
Установление закона; разработка новой теории	10

Продолжение таблицы 7.9

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
Глубокая разработка проблемы: многоаспектный анализ связей, взаимозависимости между фактами с наличием объяснения	8
Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	6
Элементарный анализ связей между фактами с наличием гипотезы, симплексного прогноза, классификации, объясняющей версии или практических рекомендаций частного характера	2
Описание отдельных элементарных фактов (вещей, свойств и отношений); изложение опыта, наблюдений, результатов измерений	0,5

Данная работа представляет собой практические рекомендации частного характера, поэтому количественная оценка теоретического уровня научно-исследовательской работы оценивается в 2 балла.

Возможность реализации научных результатов определяется на основе значения баллов по таблице 7.10.

Таблица 7.10 – Возможность реализации научных результатов

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Более 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	2

Отрасль (министерство)	4
Народное хозяйство	10
Примечание: Баллы по времени и масштабам складываются	

Предлагаемая научно-исследовательская работа может быть реализована в течение первых лет. При этом масштаб реализации – одно предприятие.

Результаты оценок признаков для научно-исследовательской работы представлены в таблице 7.11.

Таблица 7.11 – Количественная оценка признаков

Признак научно-технического эффекта	Характеристика признака	Значение весового коэффициента K_i	Значение количественной оценки P_i
Уровень новизны	Результаты исследований систематизируют и обобщают имеющиеся сведения, определяют пути дальнейших исследований	0,6	3
Теоретический уровень	Элементарный анализ связей между фактами с наличием гипотезы, симплексного прогноза, классификации, объясняющей версии или практических рекомендаций частного характера	0,4	2

Продолжение таблицы 7.11

Признак научно-технического эффекта	Характеристика признака	Значение весового коэффициента K_i	Значение количественной оценки P_i
Возможность реализации	Время реализации – в течение первых лет; масштаб – одно предприятие	0,2	12

На основе значений из таблицы 7.11, показатель научно-технического уровня принимает значение, равное:

$$H_m = \sum(K_i + P_i) = 0,6 \cdot 3 + 0,4 \cdot 2 + 0,2 \cdot 12 = 5.$$

Для оценки уровня научно-технического эффекта используется таблица 7.12.

Таблица 7.12. Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень научно-технического эффекта	Показатель научно-технического эффекта
Низкий	1 – 4
Средний	4 – 7
Сравнительно высокий	7 – 10
Высокий	10 – 14

Так как показатель научно-исследовательского уровня равен 5, то научно-технический эффект рассматриваемой работы является средним.

Данная научно-исследовательская работа представляет интерес для Инженерной школы информационных технологий и робототехники

Томского политехнического университета, а уровень научно-технического эффекта доказывает целесообразность внедрения данной разработки.

8 Социальная ответственность

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовой кодекс РФ содержит положения об отношениях между организацией и сотрудниками, информацию об оплате труда, о нормировании труда, выходных, отпуска и так далее.

Работу в условиях учебной лаборатории можно отнести ко второй категории тяжести труда. В данную категорию относятся работы, которые выполняются при оптимальных условиях внешней производственной среды и при оптимальной величине физической, умственной и нервно-эмоциональной нагрузки. Продолжительность рабочего дня работников не должна превышать 40 часов в неделю.

Основная работа по проекту выполняется с помощью персонального компьютера (ПК). Требования к ПК описаны в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». В соответствии с данным документом рабочие места с ПК должны быть расположены так, чтобы свет падал сбоку, желательно слева. При размещении рабочих мест должно учитываться расстояние между рабочими столами и мониторами: расстояние между боковыми поверхностями мониторов не менее 1,2 м, а расстояние между экраном монитора и тыльной частью другого монитора не менее 2 м.

Также согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, чтобы происходило быстрое и точное считывание информации, необходимо расположить плоскость экрана ниже уровня глаз пользователя, перпендикулярно к нормальной линии взгляда в 15 градусов вниз от горизонтали. Клавиатура должна располагаться на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю.

В ГОСТ 12.2.032-78. «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя» описываются требования к эргономике рабочего места. В них говорится, что рабочий стол может быть

любой конструкции, которая отвечает современным требованиям эргономики и позволяет удобно разместить на рабочей поверхности оборудование с учетом его количества, размеров и характера выполняемой работы.

Соответствие требованиям рабочего места в лаборатории 025 приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Требования к организации рабочего места при работе с ПЭВМ

Требование	Требуемое значение	Значение параметров в помещении
Высота рабочей поверхности стола	Регулируемая высота (680-800мм) Нерегулируемая высота (725мм)	Нерегулируемая высота (750 мм)
Рабочий стул	Подъемно-поворотный, регулируемый по высоте и углу наклона спинки	Не соответствует
Расположение монитора от глаз пользователя	600-700 мм	Не соответствует

Для соответствия требованиям нормативным актам по организации рабочего места, необходимо приобрести рабочий стул, который будет обеспечивать функции регулировки по высоте и углу наклона спинки стула. Также необходимо приобрести стол, на котором будет возможно расположить монитор от глаз пользователя на расстоянии 600-700мм. В данный момент ширина стола составляет 600мм, что делает невозможным расположение монитора на нужном расстоянии.

8.2 Производственная безопасность

В данной выпускной квалификационной работе разработан программно-методическое обеспечение для дистанционного проведения лабораторной работы «САУ с использованием ШИМ на базе PLC150». Для

реализации разработки использовалось следующее оборудование: диспетчерская станция в виде персонального компьютера, контроллер ПЛК150. Для выполнения поставленных задач было реализовано удаленное подключение к персональному компьютеру, написаны программы, проведено их тестирование, проведены технические эксперименты, разработаны методические обеспечения. На разных этапах выполнения поставленных задач могут наблюдаться вредные и опасные факторы производства.

Согласно «ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» при работе с ПК могут наблюдаться опасные и вредные факторы, которые отражены в таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Зрительное напряжение	+	+	+	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»
Отклонение показателей микроклимата в закрытом помещении	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»

Продолжение таблицы 8.2

Недостаточная освещенность	+	+	+	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Актуализированная редакция СНиП 23-05-95
Нервно-психические перегрузки, монотонность трудового процесса	-	+	+	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ Р 12.1.019-2017 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»

8.2.1 Зрительное напряжение

При работе с ПК наблюдается напряжение зрительных анализаторов. Для снижения зрительного напряжения необходимо соблюдать визуальные параметры экрана, представленные в таблице 8.3.

Таблица 8.3 – Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации

Параметр	Допустимые значения
Яркость белого поля	Не менее 35 кд/кв.м
Неравномерность яркости рабочего поля	Не более $\pm 20\%$
Контрастность (для монохромного режима)	3:1
Пространственная нестабильность изображения (непреднамеренное изменение положения фрагментов изображения экрана)	Не более $2 \cdot 10L - 4L$, где L – расстояние наблюдения

8.2.2 Отклонение показателей микроклимата в закрытом помещении

К показателям, которые характеризуют микроклимат в производственных помещениях, относятся температура воздуха, относительная влажность воздуха, температура поверхностей, скорость движения воздуха, интенсивность теплового облучения. Данные показатели по отдельности и в комплексе оказывают влияние на организм человека, тем самым определяют его самочувствие. Оптимальные (таблица 8.4) и допустимые (таблица 8.5) значения параметров микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4.548–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

Таблица 8.4 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Холодный	22 – 24	21 – 25	60 – 40	0,1
Теплый	23 – 25	22 – 26	60 – 40	0,1

Таблица 8.5 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура поверхностей, °С	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин		для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	19,0 – 26,0	20,0 – 21,9	24,1 – 25,0	15 – 75	0,1	0,1
Теплый	20,0 – 29,0	21,0 – 22,9	25,1 – 28,0	15 – 75	0,1	0,2

Параметры микроклимата в помещении регулируются системой центрального отопления и приточно-вытяжной вентиляцией.

Мероприятиями по оздоровлению воздушной среды в производственной среде являются правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещения. Вентиляция может быть реализована естественным и механическим путем. При объеме помещения до 20м³ на человека должно подаваться наружного воздуха не менее 30м³ в час; при объеме помещения более 40м³ при отсутствии выделения вредных человек допускается естественная вентиляция.

В аудитории, где находится необходимое оборудование, есть только естественная вентиляция, то есть воздух поступает и удаляется через щели, окна и двери. Главным недостатком такого вида вентиляции является отсутствие предварительной очистки и нагревания приточного воздуха. Данный вид вентиляции допускается при условии, что на одного работающего приходится более 40 м³ объема воздуха в помещении.

Поскольку в помещении при выполнении предлагаемой лабораторной работы необходимо присутствие только одного человека (преподавателя, который будет следить за безопасностью работы оборудования), то можно сделать вывод о том, что требование к объему воздуха на одного работающего выполняется, что означает отсутствие необходимости в наличии принудительной вентиляции.

В зимнее время в помещении должна быть предусмотрена система отопления, чтобы обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В рассматриваемой аудитории используется водяное отопление со встроенными нагревательными элементами и стояками.

8.2.3 Недостаточная освещенность

Естественное освещение оказывает положительное влияние на организм человека (особенно на зрение) и на его психологическое состояние. В помещениях, где происходит эксплуатация ПК, должно быть искусственное освещение, которое осуществляется системой равномерного освещения.

Нормируемые показатели искусственного освещения указаны в таблице 8.6.

Таблица 8.6 – Нормируемые показатели искусственного освещения

Помещения	Искусственное освещение				
	Освещенность, лк			Показатель дискомфорта, М, не более	Коэффициент пульсации освещенности, К _п , %, не более
	При комбинированном освещении		При общем освещении		
	Всего	От общего			
Кабинеты, рабочие комнаты, офисы, представительства	400	200	300	40	15

8.2.4 Нервно-психические перегрузки

Нервно-психические перегрузки – это совокупность таких сдвигов в психофизиологическом состоянии организма человека, которые развиваются после совершения работы и приводят к временному снижению эффективности труда. Данные нагрузки подразделяются на:

- умственное перенапряжение, в том числе вызванное информационной нагрузкой;
- перенапряжение анализаторов, в том числе вызванное информационной нагрузкой;
- монотонность труда, вызывающая эмоциональные перегрузки.

Если наблюдается нервно-психологическая перегрузка, то необходимо выполнить следующие действия:

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

8.2.5 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Электрические установки представляют для человека большую опасность, которая усиливается тем, что человеческие органы чувств не могут обнаружить на расстоянии наличие электрического напряжения.

В лаборатории не следует работать с контроллером ПЛК150 и компьютером, если наблюдается повышенная влажность (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), температура более 35°C, наличие токопроводящей пыли или токопроводящих полов. Таким образом, работа с лабораторным комплексом может проводиться только в помещениях без повышенной опасности. Также в данном помещении вероятность поражения током должна быть высока только при прикосновении непосредственно с элементами ПЛК150 или компьютера.

В лаборатории используются приборы, которые потребляют напряжение 220В переменного тока частотой 50Гц.

Чтобы обеспечить защиту от поражений электрическим током, все токоведущие части должны быть защищены от случайного прикосновения с кожухами, корпус устройства должен быть заземлен. Согласно ПУЭ общая шина, которая присоединяется к заземлению, должна иметь сопротивление не более 4 Ом. Питание устройств должно осуществляться от силового щита через автоматический выключатель, который срабатывает при коротком замыкании нагрузки. Также к мерам защиты от воздействия электрического тока относятся оградительные устройства, устройства автоматического контроля и сигнализации, изолирующие устройства и покрытия, устройства защитного заземления, устройства автоматического отключения, предохранительные устройства.

8.3 Экологическая безопасность

Технический прогресс оказывает постоянно увеличивающееся влияние на окружающую среду, создает предпосылки для возникновения

экологических кризисов. Но технический прогресс также предоставляет новые возможности, чтобы справляться с ухудшением природной среды.

При вентиляции помещения в атмосферу удаляется воздух, подогретый оборудованием и содержащий продукты дыхания, а в помещение поступает «воздух жилых зон». Контроль за состоянием воздуха производит Томская специальная инспекция государственного экологического контроля и анализа отделение областного комитета природы и в случае обнаружения превышения какой-либо предельно допустимой концентрации принимает соответствующие меры.

Если используемое оборудование выйдет из строя и не будет поддаваться ремонту, то его необходимо утилизировать. Пластмассовые, железные детали, можно пустить на переработку. Переработке так же поддается и использованная и ненужная бумага, ее можно сдать в прием макулатуры. Процедура утилизации ПК и контроллера должна соответствовать ГОСТ Р 53692-2009 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов».

Бытовые сточные воды отводятся через канализацию в городские очистительные сооружения. Необходимо предусмотреть экономию расхода воды.

8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

К возможным чрезвычайным ситуациям на рассматриваемом рабочем месте выделяют внезапное обрушение здания, аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения населения, пожар, угроза пандемии.

Так как основная работа происходит с вычислительной техникой, то наиболее вероятным чрезвычайным происшествием является пожар.

Согласно техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности [24] по пожарной и взрывопожарной опасности помещения производственного и складского назначения независимо от их функционального назначения подразделяются на следующие категории:

- 1) повышенная взрывопожароопасность (А);
- 2) взрывопожароопасность (Б);
- 3) пожароопасность (В1 - В4);
- 4) умеренная пожароопасность (Г);
- 5) пониженная пожароопасность (Д).

Рассматриваемая лаборатория относится к категории Д, так как в ней находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Наличие горючей пыли, короткие замыкания, перегрузка сетей, пуск оборудования после ремонта – все это может стать возможной причиной пожара в аудитории. Для предупреждения данных ситуаций необходим правильный выбор, монтаж и использование электрических сетей и электрических средств автоматизации. Для этого необходимо предусмотреть ряд технических и эксплуатационных мероприятий, организационный план.

Чтобы предупредить возникновения пожара, нужно соблюдать правила пожарной безопасности, проводить необходимые мероприятия. К данным правилам и мероприятиям относятся:

1. исключение образования горючей среды;
2. применение при строительстве, отделке зданий негорючих или трудногорючих материалов;
3. организовывать мероприятия, который касаются технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;
4. проводить эксплуатационные мероприятия, которые рассматривают эксплуатацию имеющегося оборудования;
5. проводить технические и конструктивные мероприятия, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов;
6. проводить противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
7. обучать персонал правилам техники безопасности;

8. издавать инструкции, плакаты, планы эвакуации;
9. соблюдать эксплуатационные нормы оборудования;
10. содержать в исправности изоляцию токоведущих проводников;
11. соблюдать противопожарные мероприятий при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения;
12. проводить профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

В лаборатории имеется огнетушитель не предусмотрен. Установлен прибор приемно-контрольный охранно-пожарный с подключенными пожарными извещателями (рисунок 8.1).



Рисунок 8.1 – Прибор приемно-контрольный охранно-пожарный

Также в аудитории есть рубильник, который может обесточить всю аудиторию. В коридоре возле аудитории приведен план эвакуации в случае пожара.

8.5 Вывод по разделу

В результате работы по разделу «Социальная ответственность» были определены основные правовые нормы, которые обеспечивают безопасность на рабочем месте. Также проведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при работе с ПК и контроллером.

Рассмотрено возможное влияние на окружающую среду, которое может произойти в результате проектирования, реализации и использования

проекта. Описаны меры, помогающие минимизировать рассмотренные негативные влияния на окружающую среду.

Изучены типичные для данной работы ЧС: обрушение здания, аварии на коммунальных системах жизнеобеспечения населения, пожар, угроза пандемии. Описаны меры по предупреждению наиболее вероятного ЧС – пожара.

Было выявлено, что есть нарушения по организации рассматриваемого рабочего места. Так необходимо предоставить более широкие рабочие столы, чтобы монитор ПК находился на необходимом расстоянии от глаз пользователя. Еще необходимо, чтобы в аудитории был предусмотрен огнетушитель на случай возникновения пожара.

Заключение

В данной работе изучены основные понятия и классификация систем автоматического управления и алгоритмы работы с ними. К рассмотренным алгоритмам относятся алгоритм экспоненциального сглаживания, фильтр скользящего среднего, медианный фильтр, ПИД-регулирование и ШИМ. Алгоритм экспоненциального сглаживания, фильтр скользящего среднего и медианный фильтр используются для первичной обработки информации. ПИД и ШИМ регуляторы вместе применяются для реализации регулирования управляемой величиной для достижения определенной уставки.

Рассмотрено назначение, состав, технические характеристики и функциональные возможности контроллера PLC150. Его основу составляют дискретные и аналоговые входы/выходы, центральный процессор, оперативная память, постоянное запоминающее устройство. Контроллер применяется для автоматизации малых и средних систем управления и диспетчеризации различных объектов в области промышленности.

Изучены основные составляющие языков программирования стандарта МЭК 6-1131/3. К текстовым языкам относятся язык структурированного текста, язык списка инструкций; к графическим – язык последовательных функциональных схем, язык релейно-контактных схем, язык функционально-блоковых диаграмм. Также изучен графический язык программирования, который не входит в стандарт МЭК 6-1131/3 – язык непрерывных функциональных схем.

Рассмотрен функционал систем CoDeSys и MasterSCADA. Реализован обмен данными между данными программами посредством стандарта OPC.

Рассмотрены следующие способы удаленного взаимодействия с ПЛК150: удаленное обращение через статический IP-адрес, удаленное подключение посредством OpenVPN, подключение через модем ПМ-01, подключение через RDP. В настоящее время при создании и загрузке проекта в ПЛК полностью отсутствует авторизация, что сильно увеличивает риски

аварийных ситуаций при работе с ПЛК. Исходя из этого, выбрано подключение через RDP.

Разработано четыре методических обеспечения для изучения работы САУ с использованием ШИМ на базе PLC150.

Определить себестоимость проекта – 304564,90 руб. Данная научно-исследовательская работа представляет интерес для Инженерной школы информационных технологий и робототехники Томского политехнического университета, а уровень научно-технического эффекта доказывает целесообразность внедрения данной разработки.

В ходе анализа социальной ответственности проекта выяснено, что есть нарушения по организации рассматриваемого рабочего места. Так необходимо предоставить более широкие рабочие столы, чтобы монитор ПК находился на необходимом расстоянии от глаз пользователя. Еще необходимо, чтобы в аудитории был предусмотрен огнетушитель на случай возникновения пожара.

Список использованных источников

- 1 Юрьевич Е.И. Теория автоматического управления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2016. – 560 с.
- 2 Ким Д. П. Теория автоматического управления: учебник и практикум для академического бакалавриата / В. М. Лохин, О. С. Колосов – М. : ИздательствоЮрайт, 2015 – 276 с.
- 3 ПЛК100/150/154 контроллеры для малых систем с AI/DI/DO/AO. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://owen.ru/product/plk100_150_154, свободный. – Загл. с экрана.
- 4 ПЛК150-220.А-М ОВЕН. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://insat.ru/prices/info.php?pid=6730>, свободный. – Загл. с экрана.
- 5 ПЛК150. Контроллер программируемый логический. Руководство по эксплуатации. – М.: ОВЕН, 2007-49 с.
- 6 Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3. – С.: ПК Пролог, 2006 – 451 с.
- 7 Ефимов С. В. Программное обеспечение автоматизированных систем управления технологическими процессами: учебное пособие / С. В. Ефимов, М. И. Пушкарев, А. С. Фадеев – Томск: изд-во ТПУ, 2020 – 128 с.
- 8 Аблин И. Е. MasterSCADA - шаг за шагом // Промышленные АСУ и контроллеры: Ежемесячный научно-технический производственный журнал. – М., 2003. – № 10. – с. 4-7.
- 9 What is OPC? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>, свободный. – Загл. с экрана.
- 10 Чеппел Л. А. TCP/IP. Учебный курс: Пер. с англ. – СПб.; БХВ-Петербург, 2003 – 976 с.
- 11 Маршрутизатор (router). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/VJEiu>, свободный. – Загл. с экрана.
- 12 Платунова С. М. Построение корпоративной сети с применением коммутационного оборудования и настройкой безопасности. Учебное

пособие по дисциплине «Корпоративные сети». – СПб: НИУ ИТМО, 2012 – 85 с.

13 Виртуальная частная сеть (VPN): очень подробное руководство для новичков. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.webhostingsecretrevealed.net/ru/the-a-to-z-vpn-guide/>, свободный. – Загл. с экрана.

14 Крюков А. Администрирование Linux. Часть 7. Пособие для дистанционных курсов. – М., 2009 – 16 с.

15 Руководство по организации удалённого подключения к промышленному ПЛК посредством OpenVPN. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/481028/>, свободный. – Загл. с экрана.

16 Инструкция по подключению контроллеров ПЛК1xx к облачному сервису OwenCloud. – М.: ОВЕН, 2017-7 с.

17 What is a GSM Technology: Architecture & Its Applications? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elprocus.com/gsm-technology-architecture-its-applications/>, свободный. – Загл. с экрана.

18 Что такое GPRS модем? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.edgemoem.ru/use6.htm>, свободный. – Загл. с экрана.

19 ИТ-ИННОВАЦИИ. Информационные технологии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/VJExq>, свободный. – Загл. с экрана.

20 ПМ01 GSM/GPRS модем. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://owen.ru/product/pm01>, свободный. – Загл. с экрана.

21 Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК110 (обновленная линейка). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://manometr-com.ru/index/catalog/avtomatika/sist>, свободный. – Загл. с экрана.

22 RDP Meaning. Learn the Basics of the Remote Desktop Protocol. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.parallels.com/blogs/ras/rdp-meaning/>, свободный. – Загл. с экрана.

23 Сетевая карта: назначение, классификация, основные параметры. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://2hpc.ru/%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D1%8F-%D0%BA%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B0/>, свободный. – Загл. с экрана.

24 ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». – М.: ИПК Изд-во стандартов, 20015. – 16 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)
Характеристики ПЛК150

Таблица А.1 – Характеристика аналоговых входов/выходов

Параметр	Значение
Аналоговые входы	
Количество аналоговых входов	4
Типы поддерживаемых унифицированных входных сигналов	Напряжение 0...1 В, 0...10 В, –50...+50 мВ Ток 0...5 мА, 0(4)...20 мА Сопротивление 0...5 кОм
Типы поддерживаемых датчиков	Термосопротивления: ТСМ50М, ТСП50П, ТСМ100М, ТСП100П, ТСН100Н, ТСМ500М, ТСП500П, ТСН500Н, ТСП1000П, ТСН1000Н Термопары: ТХК (L), ТЖК (J), ТНН (N), ТХА (K), ТПП (S), ТПП (R), ТПР (B), ТВР (А+1), ТВР (А+2)
Разрядность встроенного АЦП	16 бит
Внутреннее сопротивление аналогового входа в режиме измерения тока	50 Ом
Внутреннее сопротивление аналогового входа в режиме измерения напряжения 0... 10 В	Около 10 кОм
Время опроса одного аналогового входа	1,5 с
Предел основной приведенной погрешности измерения аналоговыми входами	±0,5 %

Продолжение таблицы А.1

Аналоговые выходы	
Количество аналоговых выходов	2
Разрядность ЦАП	10 бит
Тип выходного сигнала	Ток 4...20 мА или напряжение 0...10 В
Питание аналоговых выходов	Встроенное, общее на все выходы

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Информация о программном обеспечении MasterSCADA

Таблица Б.1 – Разделы окна проекта

Раздел	Элемент раздела	Описание элемента
Дерево системы	Система	Корневой элемент. Используется для общих настроек проекта
	Компьютер	Используется для настроек компьютера, стартовой мнемосхемы, списка операторов
	ОРС-сервер	Настройка связи с контроллером
	Группа ОРС-переменных	Сформированные переменные из ОРС-сервера. Используется для групповой настройки переменных
	ОРС-переменные	Переменные для связи с переменными контроллера.
Дерево объектов	Объект	Корневой элемент. Используется для задания общих настроек объектов.
	Объект (элемент иерархии)	Используется для определения документов, относящиеся к выбранному объекту
	Группа переменных	Используется для задания настроек объединенных переменных
	Значение	Отображает измеренное значение
	Команда	Передаёт введенное значение указанной переменной
	Расчет	Формирование значения переменной в результате вычисления заданной формулы
	Событие	Вычисляет логическое выражение. В зависимости от результата отвечает за выполнение указанного набора действий.

Продолжение таблицы Б.1

Страница свойств элементов	—	Используется для настройки элементов
Палитра элементов	—	Содержит библиотечные объекты, функциональные блоки, визуальные функциональные блоки.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Программная реализация алгоритмов

Листинг В.1 – Алгоритм экспоненциального сглаживания

```
FUNCTION_BLOCK ExponentialSmoothing
VAR_INPUT
    G:REAL; (*Настроенный параметр фильтра. 0<G<1 *)
    in:REAL; (* Входящее значение, которое необходимо
отфильтровать*)
END_VAR
VAR_OUTPUT
    out:REAL; (*Отфильтрованное выходное значение*)
END_VAR
VAR
    iterationCount:INT := 1; (*Счетчик итераций*)
    previousOut:REAL; (*Отфильтрованное значение на предыдущем
такте работы*)
END_VAR
IF iterationCount = 1 THEN
    previousOut := in;
    iterationCount := iterationCount + 1;
    out := in;
ELSE
    out := G*in+(1-G)*previousOut;
    previousOut := out;
END_IF
```

Листинг В.2 – Блок записи данных в массив

```
FUNCTION_BLOCK WriteArray
VAR_INPUT
    in:REAL; (*Новый элемент массива. Записывается в начало
массива*)
END_VAR
VAR_OUTPUT
    updatedArray:ARRAY[1..10] OF REAL; (*Обновленный массив*)
END_VAR
VAR
    copyArr:ARRAY[1..10] OF REAL; (*Копия массива*)
    i:INT; (*Итерационная переменная цикла*)
    j:INT; (*Итерационная переменная цикла*)
END_VAR
FOR i := 1 TO 10 DO
    copyArr[i] := updatedArray[i];
END_FOR
FOR j := 2 TO 10 DO
    updatedArray[j] := copyArr[j-1];
END_FOR
updatedArray[1] := in;
i := 1;
```

Листинг В.3 – Фильтр скользящего среднего

```
FUNCTION_BLOCK MovingAverage
VAR_INPUT
    N:INT; (*Настроечный параметр фильтра.*)
    in:ARRAY[1..10] OF REAL; (*Массив входных значений*)
END_VAR
VAR_OUTPUT
    out:REAL; (*Отфильтрованное значение*)
END_VAR
VAR
    iterationCount:INT:=0; (*Порядковый номер итерации*)
    sum:REAL; (*Сумма элементов массива*)
    i:INT; (*Итерационная переменная цикла*)
END_VAR
iterationCount :=iterationCount+1;
sum:=0;
IF iterationCount<N THEN
    out:=in[1];
ELSE
    FOR i:=1 TO N DO
        sum:=sum+in[i];
    END_FOR;
    out:=sum/N;
END_IF
END_BLOCK
```

Листинг В.4 – Сортировка пузырьком

```
FUNCTION BubbleSort : ARRAY[1..10] OF REAL
VAR_INPUT
    inArray:ARRAY[1..10] OF REAL; (*Входной массив*)
    end:INT; (*Сколько элементов нужно отсортировать*)
END_VAR
VAR
    i:INT; (*Итерационная переменная*)
    j:INT; (*Итерационная переменная*)
    tempVar:REAL; (*Переменная для временного хранения*)
END_VAR
FOR i:=1 TO end DO
    FOR j:=end TO 2 BY -1 DO
        IF inArray[j-1]>inArray[j] THEN
            tempVar:=inArray[j-1];
            inArray[j-1]:=inArray[j];
            inArray[j]:=tempVar;
        END_IF
    END_FOR;
END_FOR;
BubbleSort :=inArray;
```

Листинг В.5 – Медианный фильтр

```
FUNCTION_BLOCK MedianFilter
VAR_INPUT
    M:INT; (*Настроечный параметр фильтра*)
    in:ARRAY[1..10] OF REAL; (*Входной массив данных*)
END_VAR
VAR_OUTPUT
    out:REAL; (*Отфильтрованные значения*)
END_VAR
VAR
    iterationCount:INT:=0; (*Номер итерации*)
    sortedArray:ARRAY[1..10] OF REAL; (*Отсортированный массив
входных значений*)
    index:INT; (*Индекс элемента, который является результатом
фильтрации*)
END_VAR
iterationCount:=iterationCount+1;
index:=M/2;
IF iterationCount<M THEN
    out:=in[1];
ELSE
    sortedArray:=BubbleSort(inArray:=in, end:=M);
    IF (M MOD 2)=0 THEN
        out := (sortedArray[index] + sortedArray[index + 1])/2;
    ELSE
        out := sortedArray[index + 1];
    END_IF
END_IF
```

Листинг В.6 – Блок ПИД-регулирования

```
FUNCTION_BLOCK CustomPID
VAR_INPUT
    actual:REAL; (*Текущее значение сигнала*)
    setPoint:REAL; (*Уставка*)
    manual:BOOL; (*Переход на ручное управление*)
    yManual:REAL; (*Значение выхода при ручном управлении*)
    outMax:REAL; (*Максимальное выходное значение*)
    outMin:REAL; (*Минимальное выходное значение*)
    K:REAL; (*Коэффициент пропорциональности*)
    Ti:REAL; (*Интегральный коэффициент*)
    Td:REAL; (*Дифференциальный коэффициент*)
    h:DWORD; (*Шаг интегрирования и дифференцирования. Должен
быть равен времени цикла программы*)
    yOffset:REAL; (*Значение выхода ПИ-регулятора при сбросе*)
    reset:BOOL; (*Команда сброса регулятора*)
END_VAR
VAR_OUTPUT
    out:REAL; (*Управляющий выходной сигнал*)
    overflow:BOOL := FALSE; (*Перерегулирование*)
```

Продолжение листинга В.6

```
END_VAR
VAR
    countCycle : INT := 1;
    error:REAL; (*Значений рассогласования*)
    pPart:REAL; (*Пропорциональная часть ПИД*)
    iPart:REAL; (*Интегральная часть ПИД*)
    dPart:REAL; (*Дифференциальная часть ПИД*)
    integralVal:REAL := 0; (*Результат интегрирования*)
    integralFB:INTEGRAL; (*ФБ INTEGRAL*)
    MAX_REAL:REAL := 3.402823E+38; (*Максимальное значение типа
REAL*)
    MIN_REAL:REAL := -3.402823E+38; (*Минимальное значение типа
REAL*)
    difVal:REAL; (*Результат дифференцирования*)
    derivativeFB:DERIVATIVE; (*ФБ DERIVATIVE*)
END_VAR
IF manual THEN
    out := yManual;
ELSE
    IF reset THEN
        IF (yOffset > outMax) THEN
            out := outMax;
        ELSIF (yOffset < outMin) THEN
            out := outMin;
        ELSE
            out := yOffset;
        END_IF
    ELSIF (integralVal > (MAX_REAL) - 100 ) OR (integralVal <
(MIN_REAL) + 100 ) THEN
        overflow := TRUE;
        out := yOffset;
    ELSE
        error := setPoint - actual;

        pPart := K * error;

        IF (Ti = 0) THEN
            iPart := 0;
        ELSE
            integralFB(IN:=error,          TM:=h,          RESET:=reset,
out=>integralVal);
            iPart := Ti * integralVal;
        END_IF

        derivativeFB(IN:=error,          TM:=h,          RESET:=reset,
OUT=>difVal);
        dPart := Td * difVal;

        out := out + yOffset + pPart + iPart + dPart;
        IF (out < outMin) THEN
            out := outMin;
        
```

Окончание листинга В.6

```
        END_IF
        IF (out > outMax) THEN
            out := outMax;
        END_IF
    END_IF
END IF
```

Листинг В.7 – Блок ШИМ

```
FUNCTION_BLOCK CustomPWM
VAR_INPUT
    outPID:REAL; (*Управляющий выход ПИД*)
    genClose:REAL; (*Входной сигнал на закрытие*)
    genOpen:REAL; (*Входной сигнал на открытие*)
END_VAR
VAR_OUTPUT
    close:BOOL; (*Выход ШИМ на закрытие*)
    open:BOOL; (*Выход ШИМ на открытие*)
END_VAR
VAR
END_VAR
IF (outPID > 0) AND (outPID > genClose) THEN
    close := TRUE;
ELSE
    close := FALSE;
END_IF

IF (outPID < 0) AND (outPID < genOpen) THEN
    open := TRUE;
ELSE
    open := FALSE;
END_IF
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

Методические указания по выполнению лабораторной работы «Реализация алгоритмов фильтрации данных в среде CoDeSys»

Целью работы является знакомство с удаленным способом взаимодействия с PLC150, создание проекта в среде CoDeSys, настройка входов/выходов контроллера в среде CoDeSys. Помимо этого, одной из целей работы является реализации программы в среде CoDeSys для фильтрации входных сигналов.

1 Теоретические сведения

1.1 Алгоритмы фильтрации

Многие виды информации могут быть преобразованы в цифровой сигнал. Данный вид информации удобен для последующей обработки и анализа. Один из видов обработки цифрового сигнала – фильтрация. Алгоритмы фильтрации используются для устранения компонентов сигнала, которые не содержат полезную информацию. К данным компонентам можно отнести шум, всплески.

1.1.1 Экспоненциальное сглаживание

Алгоритм экспоненциального сглаживания основывается на том, что результатам наблюдений задаются веса, которые определяются с помощью настроечного параметра фильтра γ ($0 \leq \gamma \leq 1$) – параметра сглаживания. Если параметр γ близок к нулю, то больший вес придается наблюдениям из прошлого. Если параметр γ близок к единице, то больший вес придается более поздним наблюдениям. Обычно больший вес имеют свежие наблюдения, чем наблюдения из прошлого.

В данной работе фильтрация, происходящая с помощью экспоненциального сглаживания, выражается с помощью формулы 1.1.

$$Y[n] = \gamma X[n] + (1 - \gamma)Y[n - 1], \quad (1.1)$$

где $X[n]$ – зашумленный сигнал на n -м такте работы;

$Y[n]$ – отфильтрованный сигнал на n -м такте работы;

γ – настроечный параметр фильтра.

1.1.2 Фильтр скользящего среднего

Алгоритм скользящего среднего основывается на том, что данные обновляются по мере поступления новых значений, т. е. среднее значение, которое определяет отфильтрованное значение в конкретный момент времени, перемещается по временной шкале. При использовании данного алгоритма наблюдается запаздывание.

Расчет значения сигнала, отфильтрованного с помощью скользящего среднего, происходит по формуле 1.2.

$$Y[n] = \frac{\sum_{i=n+1-N}^n X[i]}{N}, \quad (1.2)$$

где $X[i]$ – зашумленный сигнал на i -м такте работы;

$Y[n]$ – отфильтрованный сигнал на n -м такте работы;

N – настроечный параметр фильтра.

1.1.3 Медианный фильтр

Медианный фильтр осуществляет усреднение входного сигнала, тем самым подавляя различные шумы. Данный алгоритм зависит от настроечного параметра M , представляющий собой «окно» для фильтруемых данных. Если параметр M представляет нечетное число, то на выход поступает элемент «окна», находящийся в середине. В том случае, если параметр M – четное число, то выходное значение – среднее двух значений, образующих «середины» окна.

Фильтрация медианным фильтром осуществляется по формуле 1.3.

$$Y[n] = med(sort(X[(n+1-M)...n])), \quad (1.3)$$

где $X[(n+1-M)...n]$ – массив значений зашумленного сигнала;

$sort(X[(n+1-M)...n])$ – отсортированный массив значений зашумленного сигнала;

$med(sort(X[(n+1-M)...n]))$ – значение зашумленного сигнала, находящееся на центральной позиции в отсортированном массиве (если количество значений в массиве четное, то полусумма средних);

$Y[n]$ – отфильтрованный сигнал на n -м такте работы;

M – настроечный параметр фильтра.

1.2 Языки стандарта МЭК 61131-3

Стандарт МЭК 61131-3 был создан в целях стандартизации языков программирования ПЛК. Данный стандарт определяет синтаксис и семантику унифицированного набора языков программирования ПЛК. Группу языков стандарта МЭК 61131-3 можно разделить на две группы – текстовые языки и графические. К текстовым относятся Structured Text (ST, язык структурированного текста), Instruction List (IL, язык списка инструкций); к графическим – Sequential Function Chart (SFC, язык последовательных функциональных схем), Ladder Diagram (LD, язык релейно-контактных схем), Functional Block Diagram (FBD, язык функционально-блоковых диаграмм). Однако данный набор не означает, что программы для ПЛК должно писаться только на языках программирования стандарта МЭК 61131-3. Так, например, среда CoDeSys, помимо пяти стандартных языков, предоставляет возможность создания программ на графическом языке Continuous Flow Chart (CFC, язык непрерывных функциональных схем). Выбор языка, на котором будет написана программа для ПЛК, часто зависит от поставленной задачи. Если программа создается в среде CoDeSys, то в качестве справочника об операторах и возможностях

того или иного языка удобно использовать «Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys 2.3».

1.3 Блок GEN

Библиотека Util предоставляет функциональный блок GEN (функциональный генератор), который отвечает за генерирование определенного сигнала. Описание входов и выходов функционального блока приведено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Входы и выходы блока GEN

Название	Тип данных	Описание
Вход		
MODE	GEN_MODE	Задаёт вид генерируемой функции. Включает следующие значения: TRIANGLE, TRIANGLE_POS, SAWTOOTH_RISE, SAWTOOTH_FALL, RECTANGLE, SINE, COSINE
BASE	BOOL	Определяет представление единиц периода (TRUE) по времени или по числу циклов (FALSE)
PERIOD	TIME	Период выходного сигнала
CYCLES	INT	Период выходного сигнала
AMPLITUDE	INT	Амплитуда сигнала
RESET	BOOL	Сброс генератора
Выход		
OUT	INT	Результат генерирования

На рисунке 1.1 изображен пример использования функционального блока GEN на языке FBD.

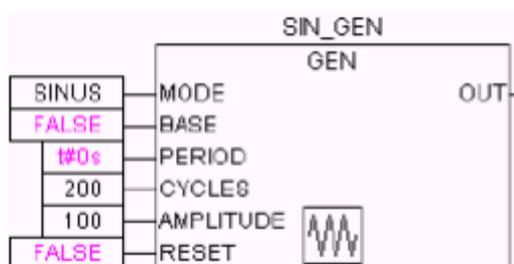


Рисунок 1.1 – Пример функционального блока на языке FBD

1.4 Оператор SEL

Оператор выборки SEL возвращает одно из двух значений, которые подаются на вход, в зависимости от того, какое логическое значение подано на логический вход. Описание входов и выходов блока SEL приведено в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Входы и выходы оператора SEL

Название	Тип данных	Описание
Вход		
IN0	Любой	Определяет выходное значение, если G = FALSE
IN1	Любой	Определяет выходное значение, если G = TRUE
G	BOOL	Управляющий сигнал
Выход		
OUT	Любой	Равен IN0, если G = FALSE; IN1, если G = TRUE

1.5 Генератор сигналов BLINK

BLINK – генератор прямоугольных импульсов. Генератор запускается по входу ENABLE = TRUE. Длительность импульса задается TIMEHIGH, длительность паузы TIMELOW. Описание входов и выходов генератора сигналов BLINK приведено в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Входы и выходы генератора сигналов BLINK

Название	Тип данных	Описание
Вход		
ENABLE	BOOL	Разрешающий вход
TIMELOW	TIME	Задаёт длительность паузы
TIMEHIGH	TIME	Задаёт длительность импульса
Выход		
OUT	BOOL	Импульс

2 Работа с программным обеспечением

2.1 Реализация подключения по RDP

В каждой операционной системе Windows есть встроенное приложение для подключения по RDP – программа «Подключение к удалённому рабочему столу» (Remote Desktop Connection). Чтобы запустить данную программу, необходимо перейти по следующему пути: «Пуск» -

«Программы» - «Стандартные» - «Подключение к удалённому рабочему столу». Также данную программу можно запустить через диалоговое окно «Выполнить». Чтобы вызвать данное окно, необходимо нажать комбинацию клавиш «Win + R». После чего ввести команду «mstsc» (рисунок 2.1).

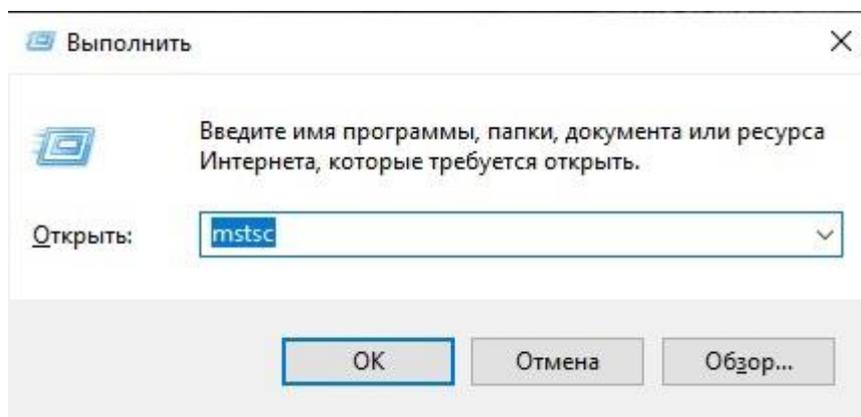


Рисунок 2.1 – Окно программы «Выполнить»

После выполнения данных действий откроется окно программы «Подключение к удалённому рабочему столу» (рисунок 2.2).

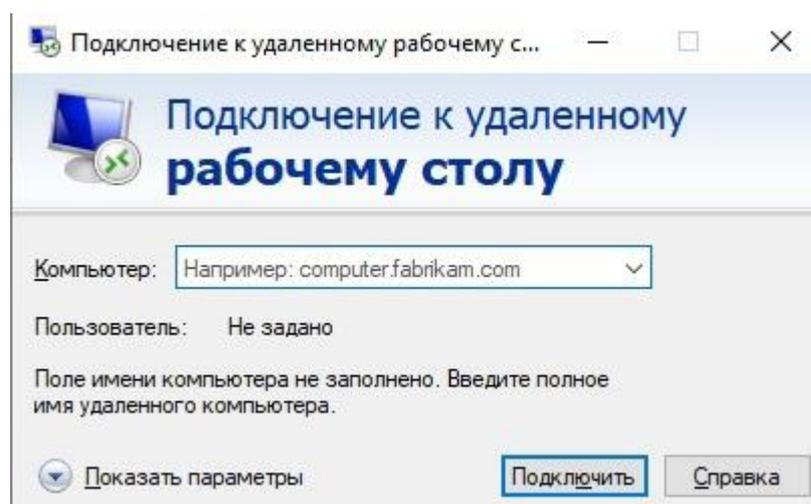


Рисунок 2.2 – Окно программы «Подключение к удалённому рабочему столу»

В открывшемся окне необходимо ввести IP-адрес виртуального сервера, имя пользователя и нажать кнопку «Подключить».

Также данная программа позволяет создавать готовый файл подключения, в котором уже будут сохранены все нужные настройки для авторизации на сервере. Данный функционал открывается с помощью вкладки «Показать параметры» (рисунок 2.3).

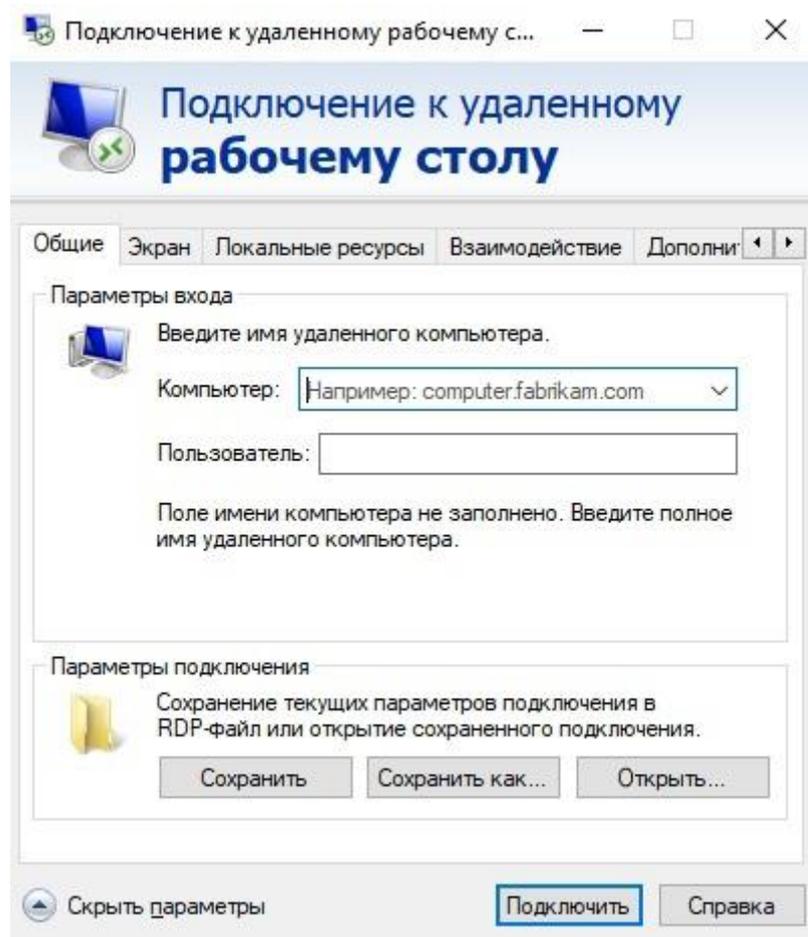


Рисунок 2.3 – Открытие дополнительных параметров

Чтобы создать ярлык для подключения к серверу, необходимо во вкладке «Параметры подключения» выбрать пункт «Сохранить» или «Сохранить как...», после чего будет произведено создание и сохранение ярлыка подключения, который можно будет запускать без дополнительного запуска программы «Подключение к удалённому рабочему столу» и ввода IP-адреса.

Для подключения к серверу, с которого будет происходить управление контроллером ПЛК150, необходимо ввести IP-адрес 109.123.162.179 и имя пользователя «Student». Имя пользователя должно быть заранее согласовано с системным администратором организации, так как для работы по RDP с компьютером в учебной аудитории необходимо предоставление дополнительных прав пользователю. Окно ввода данных показано на рисунке 2.4.

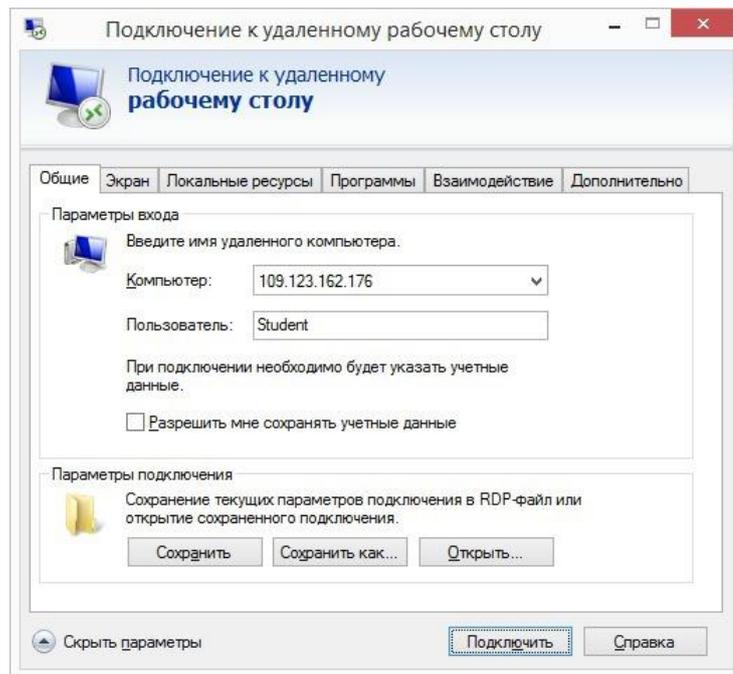


Рисунок 2.4 – Ввод параметров входа

После подключения необходимо ввести пароль «Student025» (рисунок 2.5).

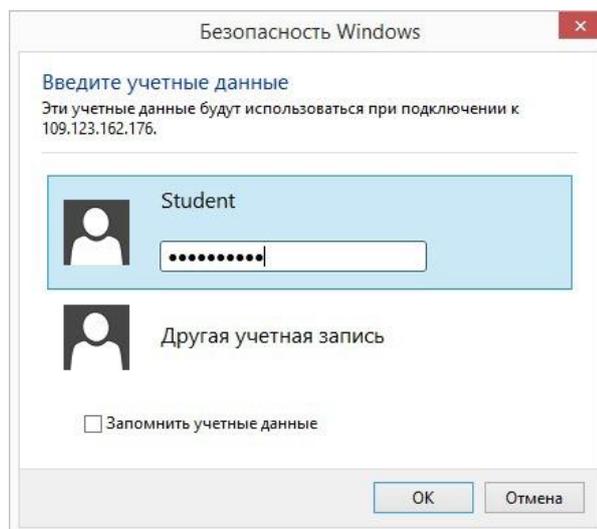


Рисунок 2.5 – Окно ввода пароля

Далее можно проводить необходимую работу с ПЛК150 (рисунок 2.6).

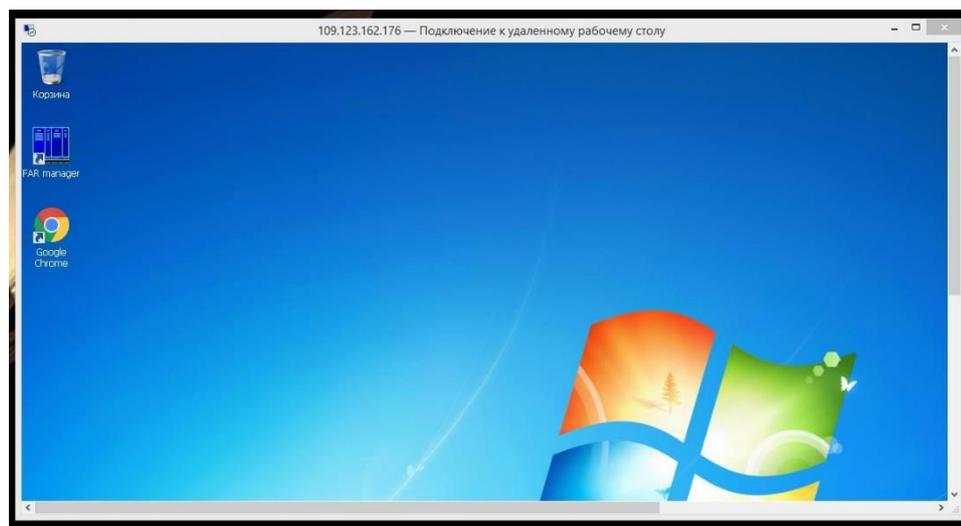


Рисунок 2.6 – Вид удаленного рабочего стола

2.2 Создание проекта в среде CoDeSys

CoDeSys (акроним англ. Controller Development System) – инструмент, предоставляющий среду для программирования контроллеров на языках стандарта МЭК 61131-3.

Первый программный компонент (POU, Program Organization Unit), который создается для дальнейшего программирования называется PLC_PRG. С данного компонента начинается выполнение процесса программы. Именно из PLC_PRG вызываются другие программы, функции и функциональные блоки, которые реализуют пользовательскую логику управления контроллером.

На этапе создания проекта выбирается контроллер, который необходимо запрограммировать и/или с которого нужно получить данные. Для выбора контроллера предварительно должны быть установлены target-файлы. Target-файл – файл или набор файлов, поставляемых производителем, содержащие информацию о ресурсах контроллера, количестве входов и выходов, интерфейсах и т.д. Для работы с лабораторной установкой необходимо выбрать target-файл «PLC150.A-M» (рисунок 2.7).

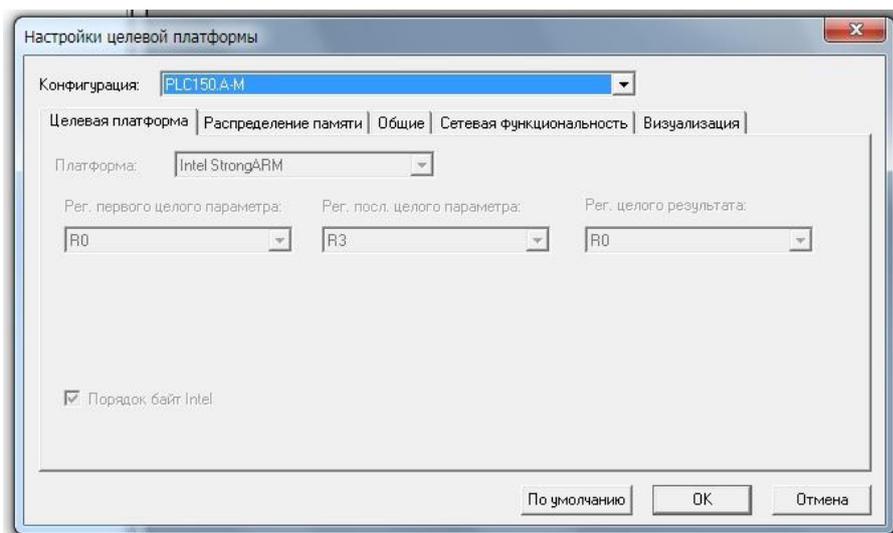


Рисунок 2.7 – Выбор target-файла

После того, как выбран target-файл, появляется окно, для настройки целевой платформы. В данном окне можно предварительно настроить проект так, чтобы через OPC-сервер можно было передавать данные в SCADA систему (рисунок 2.8)

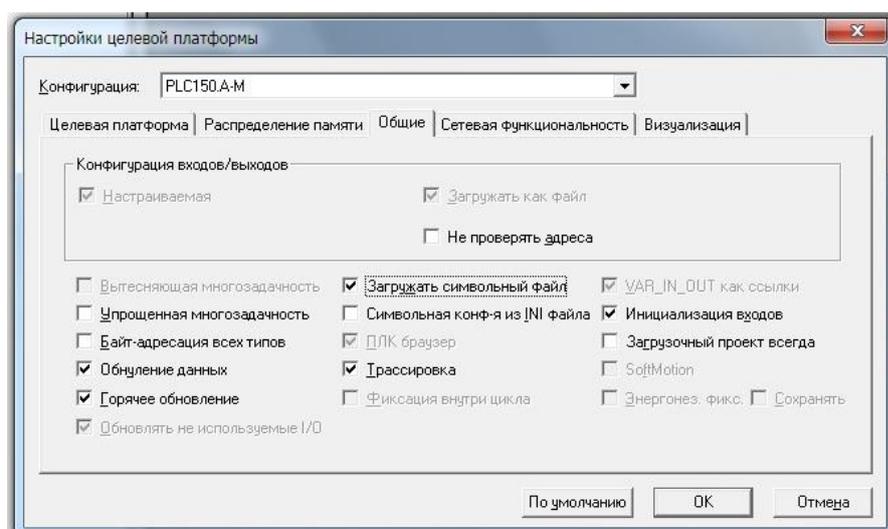


Рисунок 2.8 – Окно настройки целевой платформы

После подтверждения настроек target-файла необходимо создать основной POU. Главная программа всегда должна иметь тип «Program» и имя «PLC_PRG». Поэтому в данном диалоге (рисунок 2.9) необходимо выбрать только язык программирования.

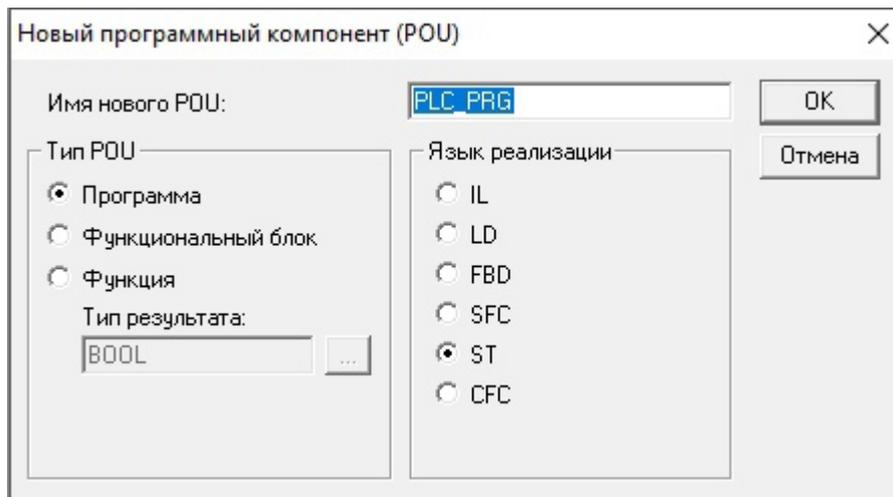


Рисунок 2.9 – Создание POU

2.3 Настройка входов и выходов контроллера

При создании проекта выбирается target-файл, который предоставляется среде CoDeSys данные о том, сколько входов/выходов есть у контроллера, какие они. На основе данной информации есть возможность получать данные с контроллера и передавать ему значения. Для работы с переменными контроллера используется меню «Конфигурация ПЛК» (рисунок 2.9).

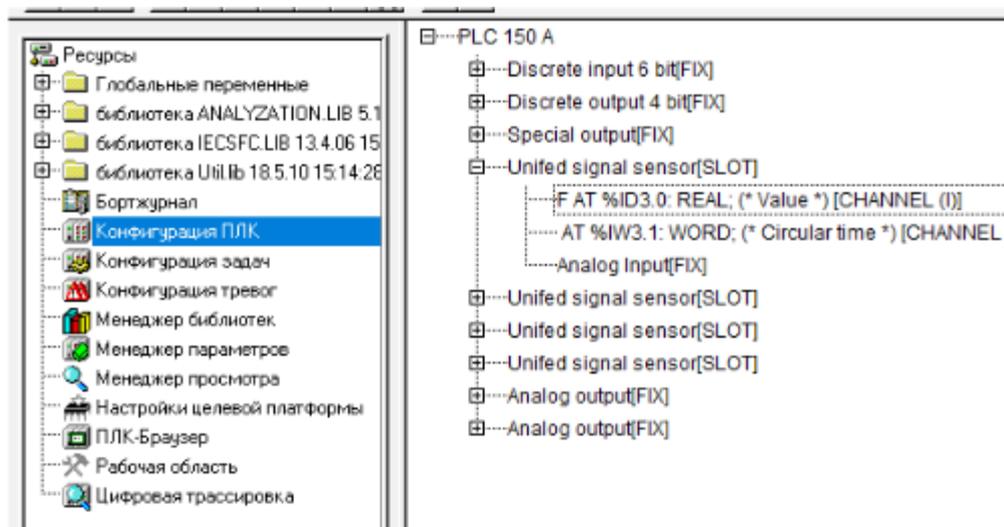


Рисунок 2.9 – Конфигурация ПЛК

С помощью данной конфигурации можно задавать символические имена для входов/выходов, чтобы далее их использовать в программах.

Пример конфигурации ПЛК150, который используется в лабораторной установке, изображен на рисунке 2.10.

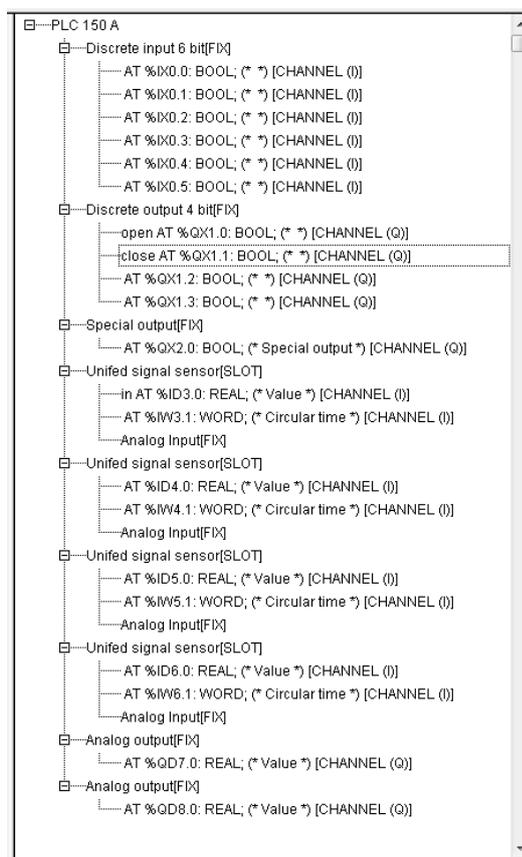


Рисунок 2.10 – Конфигурация ПЛК150

2.4 Подключение библиотеки в среде CoDeSys

CoDeSys предоставляет возможность использования не только пользовательских элементов (функций, функциональных блоков), но и из стандартных наборов – библиотек. Чтобы подключить библиотеку, необходимо использовать менеджер библиотек (рисунок 2.11).

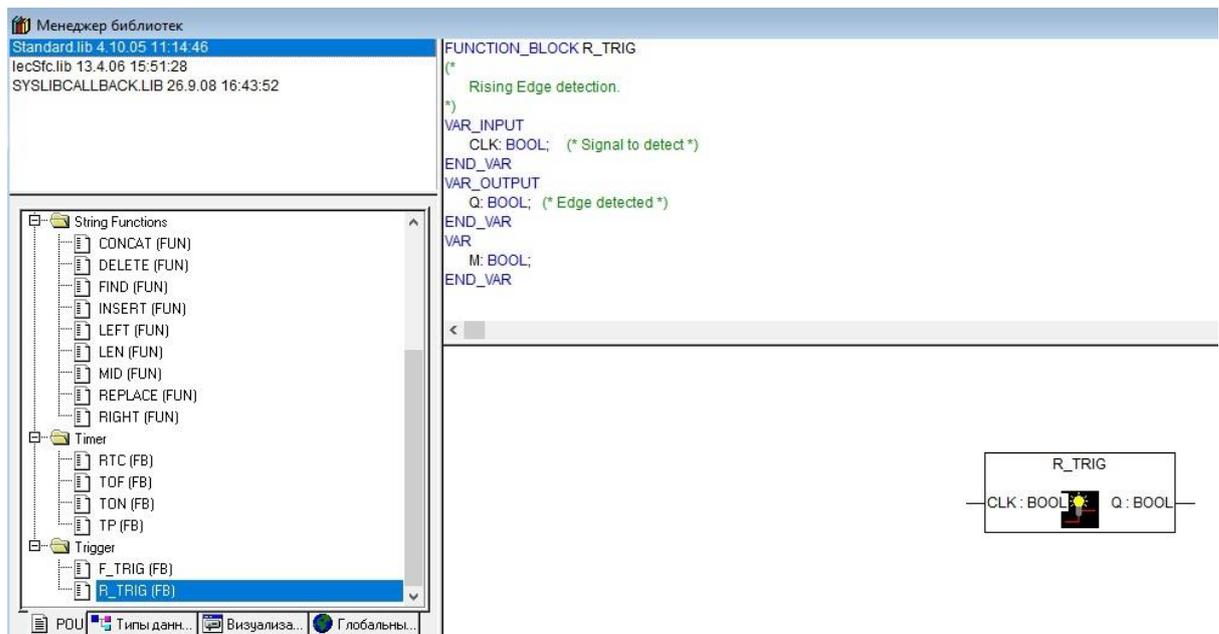


Рисунок 2.11 – Менеджер библиотек

Библиотека Standard.lib содержит все функции и функциональные блоки, которые требуются в стандарте МЭК 61131-3, поэтому она доступна всегда. Чтобы подключить дополнительную библиотеку, необходимо щелкнуть правой кнопкой мыши по менеджеру библиотек, выбрать в появившемся меню “Добавить библиотеку” (рисунок 2.12).

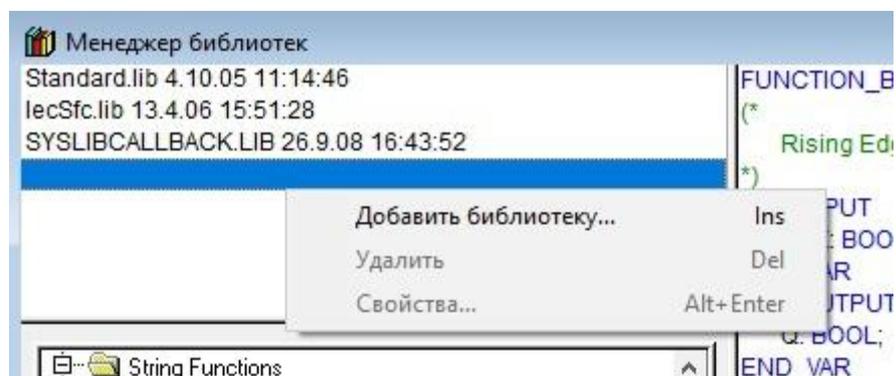


Рисунок 2.12 – Добавление библиотеки

В появившемся окне необходимо выбрать библиотеку (многие устанавливаются вместе со средой CoDeSys) – рисунок 2.13.

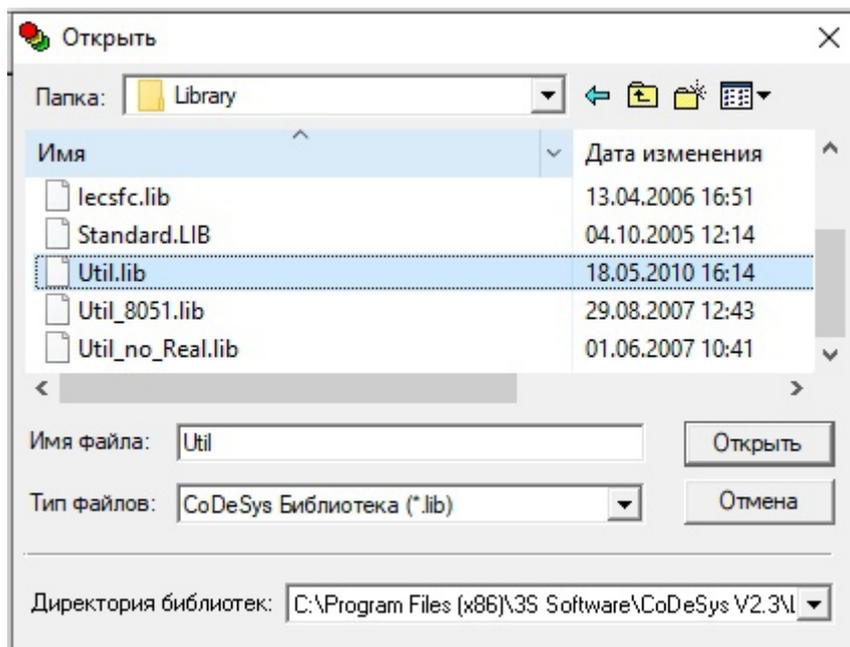


Рисунок 2.13 – Выбор библиотеки

Библиотека Util содержит дополнительный набор различных функций и функциональных блоков, применяемых для бит/байт преобразований, дополнительных математических функций, а также регуляторов, генераторов и преобразований аналоговых сигналов.

2.5 Запуск и отладка программы

После того, как создана программа, определены основные параметры для ее выполнения ее необходимо выполнить, т.е. перейти из режима «Offline» в режиме «Online». Данный переход осуществляется с помощью последовательного выбора «Онлайн» - «Подключение» (рисунок 2.14).

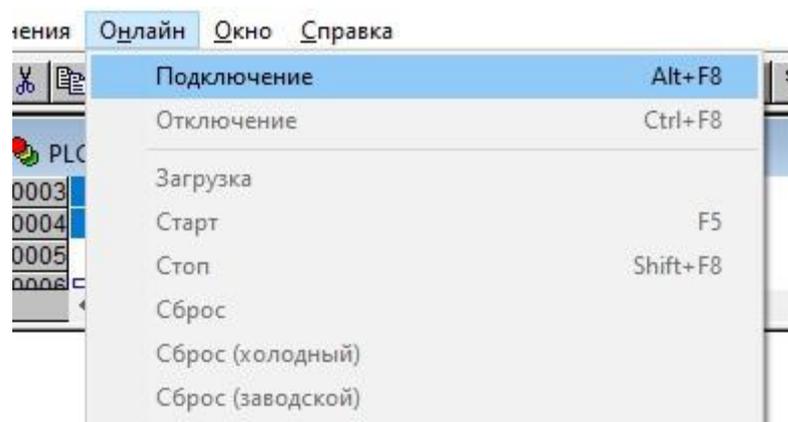


Рисунок 2.14 – Подключение программы

После подключения активируется функция «Старт» вкладки «Онлайн», при нажатии на которую начинается выполнение программы. Если необходимо только протестировать программу, то можно выбрать режим эмуляции (вкладка «Онлайн»). В этом случае происходит имитация работы контроллера, пользователь сам задает величины и смотрит результат работы при заданных величинах.

Для работы программы на реальном контроллере необходимо, во-первых, загрузить программу в контроллер. Загрузка программы в контроллер так же выполняется с помощью «Онлайн» - «Подключение». После чего нужно нажать кнопку «Старт» либо в среде CoDeSys, либо на лицевой части контроллера.

3 Задание

1. Реализовать удаленное подключение к компьютеру, который связан с ПЛК150.
2. Настроить и проверить связь между проектом среды CoDeSys и контроллером ПЛК150.
3. Сгенерировать с помощью блоков GEN, BLINK и SEL сигнал, который содержит полезную информацию, высокочастотный шум и всплески.
4. Реализовать программу фильтрации сгенерированного сигнала с помощью алгоритма, который соответствует варианту, определяемому преподавателем (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Варианты задания

Вариант	Алгоритм фильтрации
1	Алгоритм экспоненциального сглаживания
2	Алгоритм скользящего среднего
3	Медианный фильтр

4. Провести проверку и отладку программы в режиме эмуляции.
5. Подготовить отчет о проделанной работе.
- 6.

4 Контрольные вопросы

1. Какие текстовые языки описаны в стандарте МЭК 61131?
2. Какие графические языки описаны в стандарте МЭК 61131?
3. Каким наблюдениям придается больший вес, если настроечный параметр алгоритма экспоненциального сглаживания близок к 1?
4. На чем основывается алгоритм скользящего среднего?
5. Если настроечный параметр медианного фильтра является четным числом, то как определяется выходное значение фильтра?

ПРИЛОЖЕНИЕ Д (обязательное)

Методические указания по выполнению лабораторной работы «Реализация алгоритма ПИД-регулирования в среде CoDeSys»

Целью работы является изучение алгоритма ПИД-регулирования, изучение встроенного блока ПИД, собственная реализация алгоритма ПИД-регулирования.

1 Теоретические сведения

1.1 Алгоритм ПИД-регулирования

Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор – наиболее часто применяемый регулятор на производстве. Данный регулятор обеспечивает достаточно высокую точность при управлении различными процессами. Выходной сигнал ПИД-регулятора рассчитывается по формуле 1.1.

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot [E_i + \tau_D \cdot \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{изм}} + \frac{1}{\tau_I} \sum_{i=0}^n E_i \Delta t_{изм}] \cdot 100\%, \quad (1.1)$$

где X_p – полоса пропорциональности;

E_i – рассогласование;

τ_D – постоянная времени дифференцирования;

ΔE_i – разность между двумя соседними измерениями E_i и E_{i-1} ;

$\Delta t_{изм}$ – время между двумя соседними измерениями T_i и T_{i-1} ;

τ_I – постоянная времени интегрирования;

$\sum_{i=0}^n E_i$ – накопленная в i -й момент времени сумма рассогласований

(интегральная сумма).

Сигнал управления состоит из трех частей:

1. пропорциональная часть (1-ое слагаемое);
2. дифференциальная часть (2-ое слагаемое);

3. интегральная часть (3-е слагаемое).

Пропорциональная часть зависит от ошибки и отвечает за реакцию на мгновенную ошибку регулирования.

Интегральная часть накапливает ошибку регулирования, тем самым увеличивая скорость достижения уставки.

Дифференциальная часть зависит от скорости изменения ошибки. Это означает, что данная часть отвечает за реакцию регулятора на резкое изменение измеряемого параметра, которое может возникнуть в результате внешнего возмущающего воздействия.

1.2 Блок INTEGRAL

Для реализации интегрирования библиотека Util предоставляет функциональный блок INTEGRAL (рисунок 1.4).

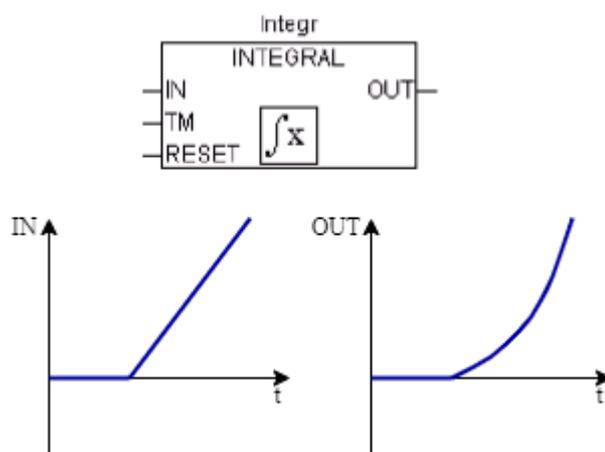


Рисунок 1.4 – Пример интегрирования линейной функции

Описание входов и выходов отображено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Входы и выходы блока INTEGRAL

Название	Тип данных	Описание
Вход		
IN	REAL	Значение, для которого нужно вычислить интеграл
TM	DWORD	Длительность интегрирования, мс
RESET	BOOL	Запуск и остановка интегрирования
Выход		
OUT	REAL	Результат интегрирования

Продолжение таблицы 1.1

Название	Тип данных	Описание
OVERFLOW	BOOL	Переполнение

В качестве алгоритма вычисления используется метод прямоугольников, который описывается с помощью формулы 1.1.

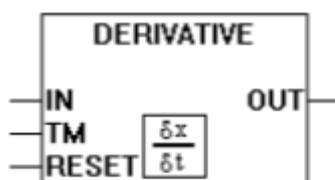
$$\int_a^b f(x)dx \approx h \sum_{i=0}^{n-1} f_i, \quad (1.1)$$

где h – длительность интегрирования;

f_i – значение функции в момент i -ой итерации.

1.3 Блок DERIVATIVE

Функциональный блок DERIVATIVE – это блок, который выполняет численное дифференцирование (рисунок 1.5).



Пример дифференцирования треугольных импульсов:

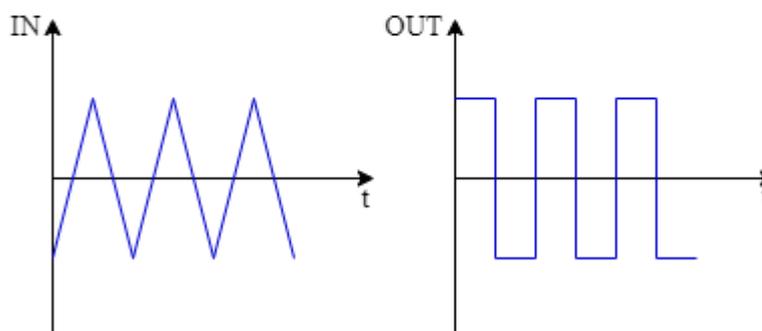


Рисунок 1.5 – Пример дифференцирования

Описание входов и выходов блока DERIVATIVE отображено в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Входы и выходы блока DERIVATIVE

Название	Тип данных	Описание
Вход		
IN	REAL	Значение, для которого нужно вычислить дифференциал
TM	DWORD	Длительность дифференцирования, мс
RESET	BOOL	Запуск и остановка дифференцирования
Выход		
OUT	REAL	Результат дифференцирования

Алгоритм DERIVATIVE проводит аппроксимацию по четырем точкам, что снижает ошибки при наличии шума во входном сигнале. Данный алгоритм описывается формулой 1.2.

$$Out = \frac{3(IN_0 - IN_3) + IN_1 - IN_2}{10TM}, \quad (1.2)$$

где IN_i – значение сигнала, поступающее на вход IN;

TM – шаг дискретизации.

1.4 Блок PID

Многие среды программирования ПЛК содержат встроенный ПИД-регулятор. Так в среде CoDeSys есть функциональный блок PID. Данный блок реализует ПИД закон регулирования, описанный в формуле 1.3.

$$Y = Y_OFFSET + KP \cdot e(t) + \frac{1}{TN} \int_0^{TN} e(t) + TV \frac{de(t)}{dt}, \quad (1.3)$$

где Y_OFFSET – стационарное значение;

KP – коэффициент передачи;

TN – постоянная интегрирования, мс;

TV – постоянная дифференцирования, мс;

$e(t)$ – сигнал ошибки.

Пример экземпляра функционального блока PID на языке FBD изображен на рисунке 1.6.

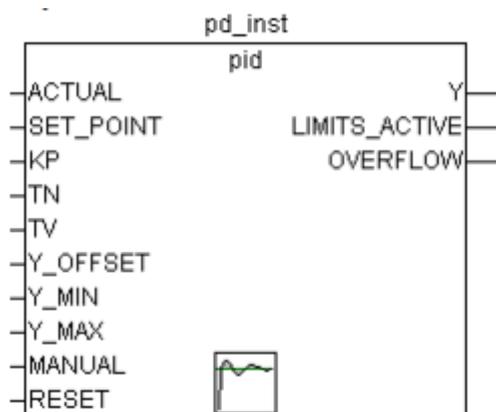


Рисунок 1.6 – Блок PID на языке FBD

Описание входов и выходов блока PID приведено в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Выходы и входы блока PID

Название	Тип данных	Описание
Входы		
ACTUAL	REAL	Текущее значение параметра регулирования
SET_POINT	REAL	Уставка
KP	REAL	Коэффициент пропорциональности
TN	REAL	Коэффициент интегрирования
TV	REAL	Коэффициент дифференцирования
Y_OFFSET	REAL	Начальное значение
Y_MIN	REAL	Минимальное допустимое значение управляющего сигнала
Y_MAX	REAL	Максимальное допустимое значение управляющего сигнала
MANUAL	BOOL	Режим работы регулятора
RESET	BOOL	Сброс
Выходы		
Y	REAL	Управляющий сигнал
LIMITS_ACTIVE	BOOL	Индикатор достижения пороговых значений
OVERFLOW	BOOL	Индикатор переполнения

Неправильная настройка блока PID может вызвать неограниченный рост интегральной составляющей. Для обнаружения такой ситуации предназначен выход переполнения – OVERFLOW. При переполнении он принимает значение TRUE, одновременно останавливается работа

регулятора. При реализации пользовательского блока ПИД-регулирования также необходимо учитывать возможное перерегулирование.

1.5 Описание лабораторной установки

На рисунке 1.7 представлена функциональная схема системы регулирования расхода жидкости.

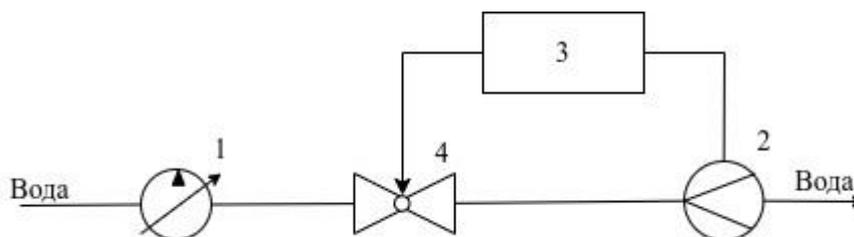


Рисунок 1.7 – Функциональная схема системы регулирования

Вода из емкости насосом (1) с постоянной производительностью прокачивается через трубопровод. Изменение производительности насос возможно с помощью ПЧВ, к которому он подключен. Расход воды измеряется ультразвуковым расходомером Otrato (2) (диапазон измерения 0...5 л/мин). Выходной сигнал расходомера (4 ... 20 мА) подается на аналоговый вход контроллера (3). В соответствии с уставкой регулирования контроллер формирует сигналы открыть/закрыть на электрический исполнительный механизм (4), который перемещает регулирующий орган, изменяя сечение трубопровода. В результате изменения сечения изменяется расход воды.

Управлять исполнительным механизмом можно как от контроллера в автоматическом режиме, так и в ручном режиме кнопками. При достижении регулирующим органом конечных положений срабатывают конечные выключатели, которые отключают привод и включают световую сигнализацию.

В схеме управления электрическим исполнительным механизмом отсутствует защита от одновременного формирования сигналов «открыть» и «закрыть».

2 Задание

1. Изучить функциональный блок PID из библиотеки Util.
2. Создать пользовательский функциональный блок, реализующий ПИД-регулирование.
3. Провести проверку и отладку программы в режиме эмуляции.
4. Провести регулирование расхода воды. Посмотреть, как будет меняться управляющий сигнал ПИД при уменьшении и увеличении расхода воды с помощью ручного управления. Варианты заданий приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Варианты заданий для выполнения лабораторной работы

Вариант	Уставка регулирования, л/мин
1	3,5
2	2
3	2,5
4	3

5. Сравнить работу функционального блока PID из библиотеки Util и созданного пользовательского функционального блока, реализующего ПИД-регулирование.
6. Подготовить отчет о проделанной работе.

3 Контрольные вопросы

1. Сколько значений функции используется для вычисления ее производной при использовании блока DERIVATIVE?
2. По какой формуле рассчитывается выходное значение блока интегрирования INTEGRAL?
3. Из каких частей формируется управляющий сигнал ПИД-регулятора?
4. За что отвечает пропорциональная часть ПИД-регулятора?

5. За что отвечает интегральная часть ПИД-регулятора?
6. За что отвечает дифференциальная часть ПИД-регулятора?

ПРИЛОЖЕНИЕ Е (обязательное)

Методические указания по выполнению лабораторной работы

«Реализация алгоритма ШИМ в среде CoDeSys»

Целью работы является изучение алгоритма ШИМ, собственная реализация алгоритма ШИМ.

1 Теоретические сведения

1.1 Алгоритм ШИМ

Сформированный регулятором сигнал, направленный на уменьшение рассогласование между текущим значением и уставкой, подается на исполнительное устройство в виде тока или в виде последовательных импульсов. В последнем случае исполнительное устройство работает по принципу широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

В случае работы с резервуаром, у которого необходимо регулировать расход жидкости, принцип алгоритма ШИМ может быть следующим. Входными данными являются выход с регулятора, пилообразные сигналы, которые отвечают за увеличение/уменьшение степени открытости задвижки, при открытии которой может вытекать вода. График входных величин изображен на рисунке 1.1.

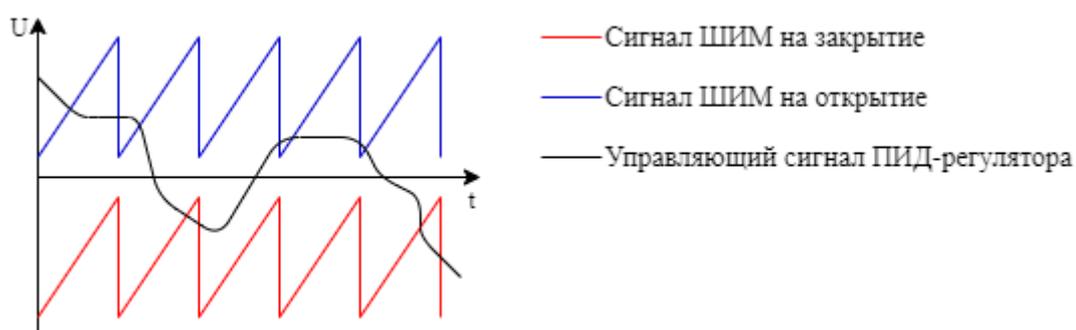


Рисунок 1.1 – Входные данные ШИМ регулятора

В те моменты, когда выход регулятора больше или равно значению сигнала ШИМ на открытие, необходимо увеличивать степень открытия задвижкой, уменьшать уровень жидкости в баке. В том случае, когда выход регулятора меньше или равен сигналу ШИМ на закрытие – степень открытия

завдвижки необходимо уменьшать. Регулирование изменения положения завдвижки происходит за счет определения времени, в течение которого должно происходить увеличение/уменьшение степени открытия завдвижки. Алгоритм получения выходного сигнала ШИМ изображен на рисунке 1.2.

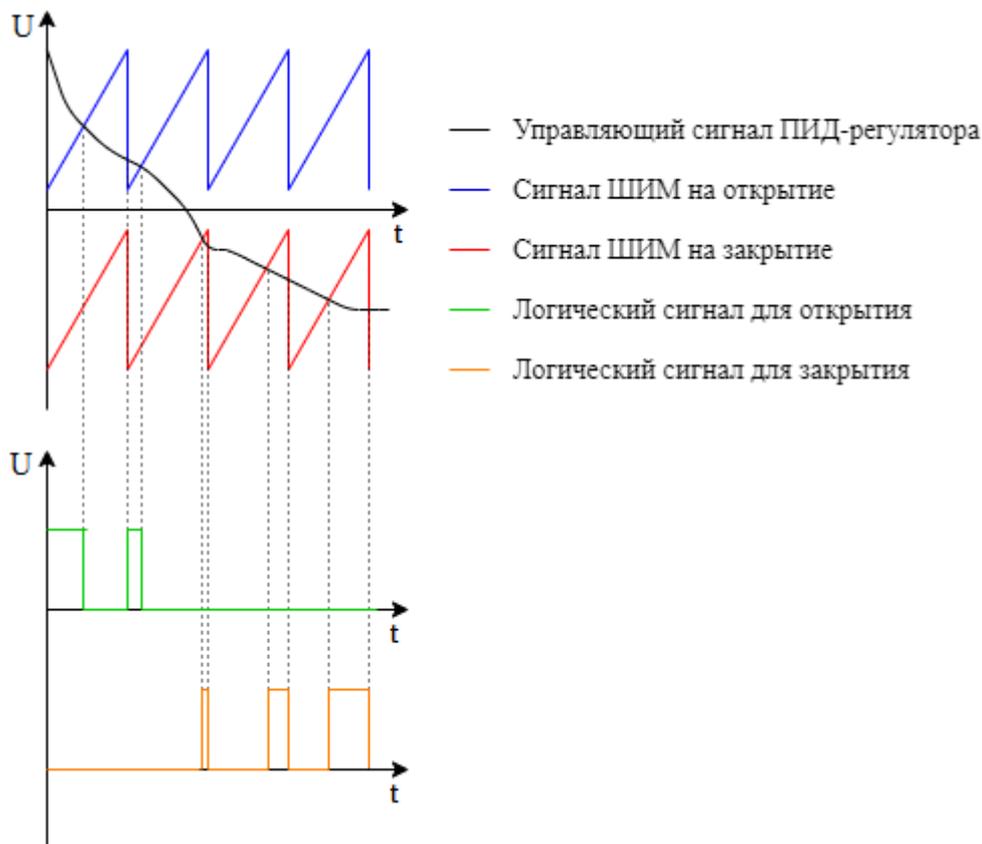


Рисунок 1.2 – Широтно-импульсная модуляция

1.3 Описание лабораторной установки

На рисунке 1.4 представлена функциональная схема системы регулирования расхода жидкости.

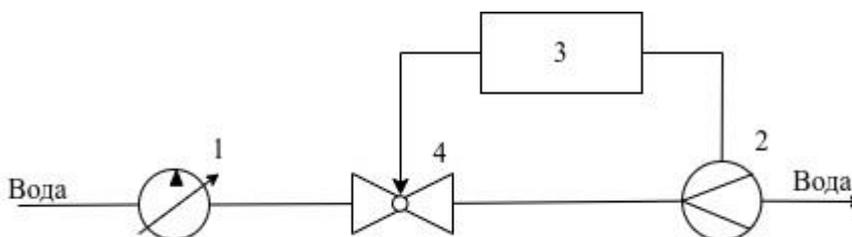


Рисунок 1.4 – Функциональная схема системы регулирования

Вода из емкости насосом (1) с постоянной производительностью прокачивается через трубопровод. Изменение производительности насос

возможно с помощью ПЧВ, к которому он подключен. Расход воды измеряется ультразвуковым расходомером Otrato (2) (диапазон измерения 0...5 л/мин). Выходной сигнал расходомера (4 ... 20 мА) подается на аналоговый вход контроллера (3). В соответствии с уставкой регулирования контроллер формирует сигналы открыть/закрыть на электрический исполнительный механизм (4), который перемещает регулирующий орган, изменяя сечение трубопровода. В результате изменения сечения изменяется расход воды.

Управлять исполнительным механизмом можно как от контроллера в автоматическом режиме, так и в ручном режиме кнопками. При достижении регулирующим органом конечных положений срабатывают конечные выключатели, которые отключают привод и включают световую сигнализацию.

В схеме управления электрическим исполнительным механизмом отсутствует защита от одновременного формирования сигналов «открыть» и «закрыть».

2 Задание

1. Изучить функциональный блок GEN из библиотеки Util.
2. Создать пользовательский блок, реализующий алгоритм ШИМ.
3. Разработать программу регулирования расхода жидкости с использованием пользовательского блока фильтрации сигнала, пользовательского блока ПИД-регулирования и широтно-импульсного регулирования. Максимальное отклонение расхода (абсолютная ошибка) от уставки не должно превышать 5 %. Варианты заданий для выполнения лабораторной работы представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Варианты заданий для выполнения лабораторной работы

Вариант	Уставка регулирования, л/мин
1	3,5
2	2
3	2,5
4	3

3 Контрольные вопросы

1. Что такое ШИМ?
2. Объясните принцип работы ШИМ дискретного типа.
3. Изобразите график изменения выходов ШИМ, если входные параметры ШИМ имеют вид, изображенный на рисунке 3.1.

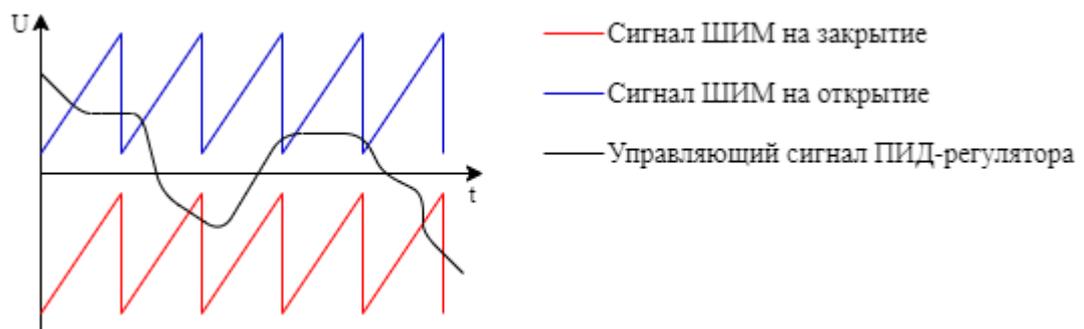


Рисунок 3.1 – Задание

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж **(обязательное)**

Методические указания по выполнению лабораторной работы «САУ с использованием ШИМ на базе PLC150»

Целью работы является создание программы визуализации САУ, работающей на основе регулирования ШИМ в пакете MasterSCADA. Получение практических навыков работы со SCADA-системой.

1 Теоретические сведения

1.1 Программа MasterSCADA

MasterSCADA – это SCADA-пакет, построенный на клиент-серверной архитектуре и имеющий возможность функционирования в локальных сетях и в Интернете. Прием и передача данных на основе стандартов OPC является встроенной.

К основным преимуществам пакета MasterSCADA относится предоставление возможности единой среды разработки АСУ ТП. Так можно создавать распределенные алгоритмы контроля и управления. Кроме того, имеется возможность доступа с любого рабочего места к любой информации, которая имеется в системе.

MasterSCADA следует стандартам, что обеспечивает взаимодействие с другими программами с помощью современных технологий.

В рассматриваемой программе используется объектный подход. Объект в MasterSCADA представляет собой единицу системы, которая соответствует реальному технологическому объекту, управление которого происходит с помощью проекта MasterSCADA.

Проект MasterSCADA состоит из разделов «Система» (описывает техническую структуру системы) и «Объект» (описывает иерархию технологического объекта). Окно проекта состоит из четырех областей – дерево системы, дерево объектов, страница свойств элементов, палитра элементов. Подробное описание элементов приведено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Разделы окна проекта

Раздел	Элемент раздела	Описание элемента
Дерево системы	Система	Корневой элемент. Используется для общих настроек проекта
	Компьютер	Используется для настроек компьютера, стартовой мнемосхемы, списка операторов
	ОРС-сервер	Настройка связи с контроллером
	Группа ОРС-переменных	Сформированные переменные из ОРС-сервера. Используется для групповой настройки переменных
	ОРС-переменные	Переменные для связи с переменными контроллера.
Дерево объектов	Объект	Корневой элемент. Используется для задания общих настроек объектов.
	Объект (элемент иерархии)	Используется для определения документов, относящиеся к выбранному объекту
	Группа переменных	Используется для задания настроек объединенных переменных
	Значение	Отображает измеренное значение
	Команда	Передаёт введенное значение указанной переменной
	Расчет	Формирование значения переменной в результате вычисления заданной формулы
	Событие	Вычисляет логическое выражение. В зависимости от результата отвечает за выполнение указанного набора действий.
Страница свойств элементов	–	Используется для настройки элементов
Палитра элементов	–	Содержит библиотечные объекты, функциональные блоки, визуальные функциональные блоки.

Объекты могут иметь мнемосхемы – окна, предоставляющие информацию в графическом виде. Число мнемосхем в проекте не ограничено.

Для проекта может быть настроен тренд – график параметров, изображающий их изменение в режиме реального времени.

MasterSCADA предоставляет три варианта режима исполнения (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Режимы исполнения MasterSCADA

Название режима	Описание
Рабочий режим	Основной режим исполнения. Программа в этом режиме проводит реальное управление объектом.
Режим отладки	Для отладки проекта на одном компьютере.
Режим имитации	На входы, для которых не определены связи, будет подаваться сигнал, созданные с помощью имитации в соответствии с заданными настройками

1.2 Обмен данными между CoDeSys и MasterSCADA

OPC (Open Platform Communications) – стандарт для безопасного и надежного обмена данными в сфере промышленной автоматизации. Данный стандарт не зависит от платформы и обеспечивает поток информации между устройствами.

Схема обмена данными организована следующим способом: OPC-сервер поставляет данные, а OPC-клиент их потребляет. К OPC-клиентам относится программное обеспечение высокого уровня, например, SCADA-пакет.

Для организации связи между CoDeSys и MasterSCADA с помощью интерфейса OPC необходимо выполнить ряд настроек. Во-первых, при создании проекта в среде CoDeSys необходимо в окне настроек выбрать

раздел «Общие» и отметить пункт «Загружать символьный файл» (рисунок 1.1).

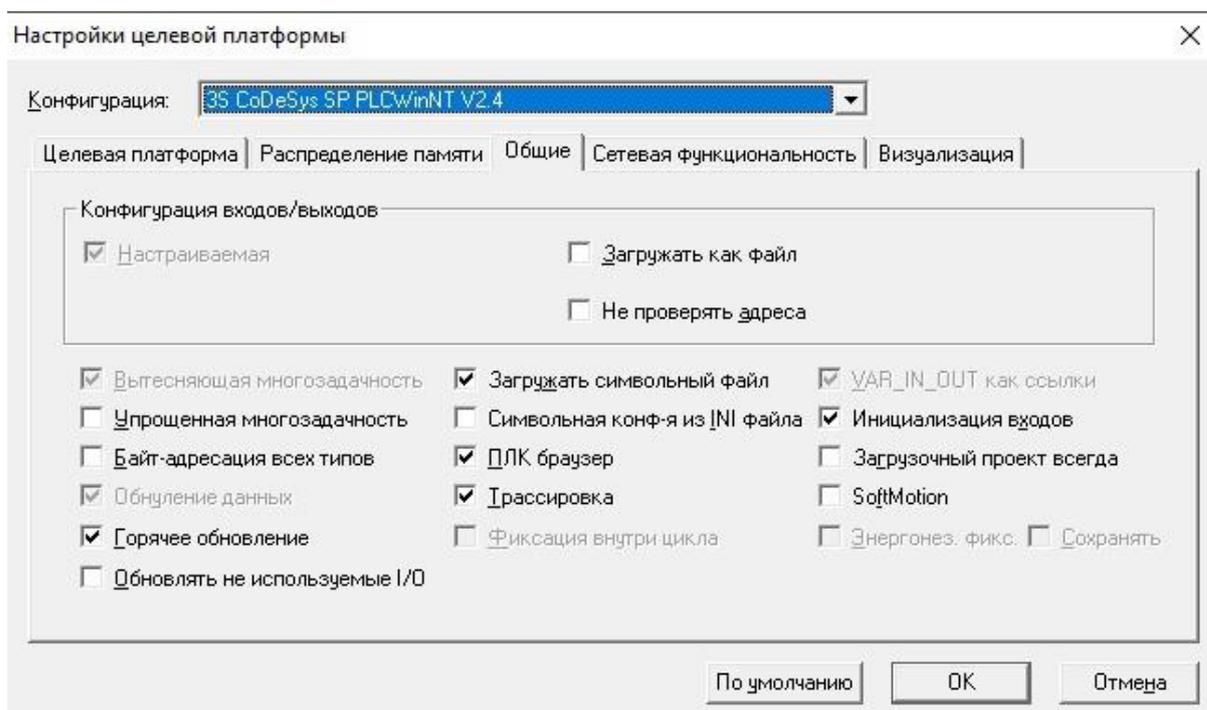


Рисунок 1.1 – Окно настройки целевой платформы

В созданном проекте в меню «Проект» - «Опции» - «Символьная конфигурация» - «Создавать описание» - «Настроить символьные конфигурации» необходимо выбрать экспортируемые переменные и выбрать пункт «Экспорт переменных проекта» (рисунок 1.2).

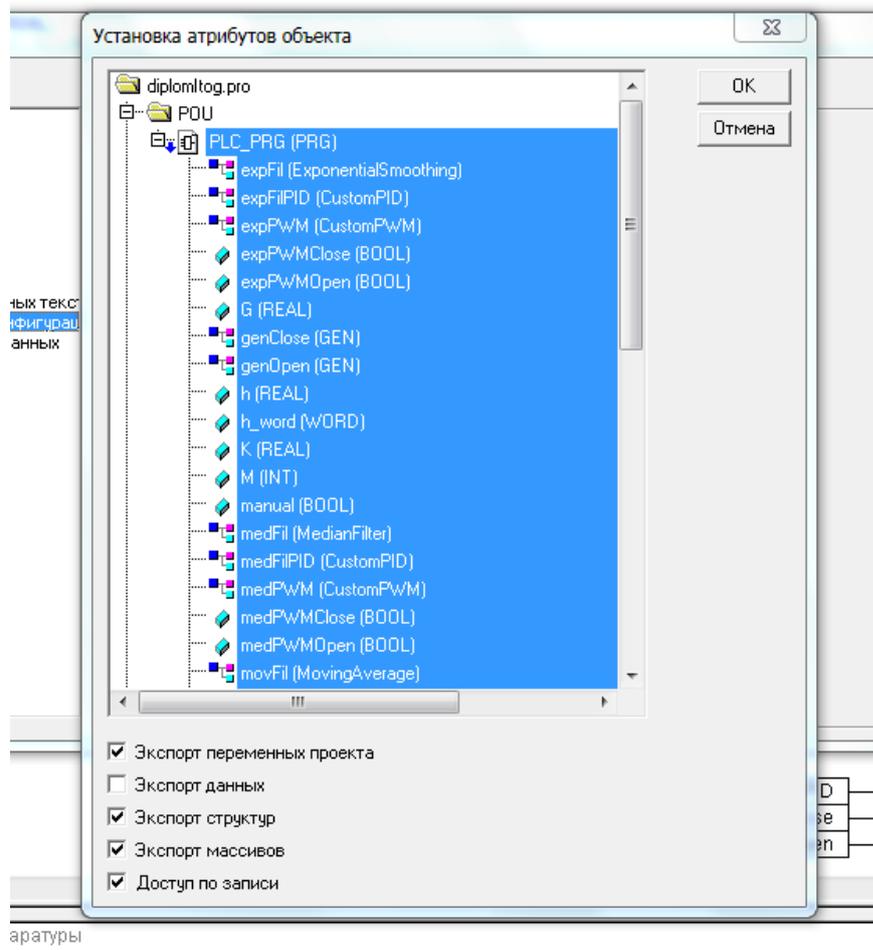


Рисунок 1.2 – Экспорт переменных

Далее необходимо погрузиться к контроллеру с заданными настройками. Далее необходимо соотнести настройки вкладки «Параметры соединения» с параметрами «Connection», предварительно созданным в программе «OPC Config». Соединение создается следующим образом: нажать на объект «Server» правой кнопкой мыши и выбрать пункт «Append PLC». Если параметры «Communication» объекта «PLC1» одинаковые, то нужно сохранить данные настройки в программе «OPC Config». После чего очистить и перекомпилировать проект в среде CoDeSys, затем запустить его на ПЛК.

Настройка соединения со стороны MasterSCADA производится следующим образом: необходимо в объект «Компьютер» вставить OPC-сервер через нажатие правой кнопкой мыши по объекту «Компьютер» и выбор соответствующего пункта. В созданный OPC-сервер необходимо

вставить OPC-переменные через меню настроек. Пример окна выбора OPC-переменных показан на рисунке 1.3.

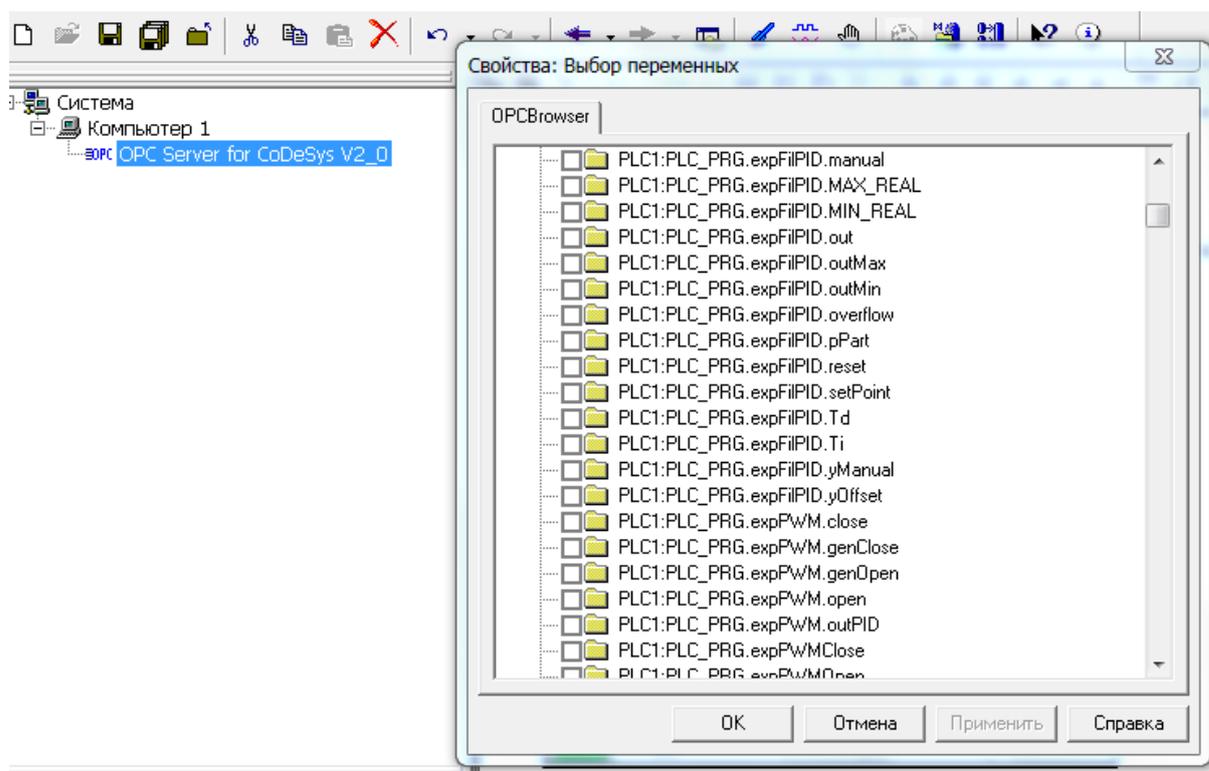


Рисунок 1.3 – Окно выбора OPC-переменных

Выбранные OPC-переменные можно соотносить с переменными MasterSCADA.

2 Задание

1. Организовать передачу данных между CoDeSys и MasterSCADA посредством CoDeSys OPC.

2. Разработать программу визуализации системы регулирования расхода жидкости. Максимальное отклонение расхода (абсолютная ошибка) от уставки не должно превышать 5 %. Варианты заданий для выполнения лабораторной работы представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Варианты заданий для выполнения лабораторной работы

Вариант	Уставка регулирования, л/мин
1	3,5
2	2

Продолжение таблицы 2.1

Вариант	Уставка регулирования, л/мин
3	2,5
4	3

3 Контрольные вопросы

1. Какие функциональные возможностями пакета MasterSCADA использовались при создании программы?
2. Какие библиотечные объекты палитры элементов использовались при создании программы?
3. Какой элемент дерева «Объект» служит для отображения измеренного значения?
4. Какой элемент дерева «Объект» служит для передачи введенного значения от органа управления мнемосхемы?
5. Как осуществлялась связь программы с контроллером и приложением CoDeSys?

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(обязательное)

План выполнения работ

Таблица 3.1 – Комплекс работ по разработке проекта

Наименование работ	Исполнитель
1 Составление задания, постановка целей и задач	Руководитель проекта на кафедре, студент-дипломник
2 Поиск литературы	Руководитель проекта на кафедре, студент-дипломник
3 Ознакомление с литературой и технической базой	Руководитель проекта на кафедре, студент-дипломник
4 Исследование систем автоматического регулирования	Студент-дипломник
5 Изучение программного комплекса CoDeSys	Студент-дипломник
6 Ознакомление со SCADA-системой MasterSCADA	Студент-дипломник
7 Изучение алгоритмов первичной обработки информации	Студент-дипломник
8 Изучение алгоритма ПИД-регулирования	Студент-дипломник
9 Изучение алгоритма ШИМ	Студент-дипломник
10 Изучение и анализ способов удаленного взаимодействия с ПЛК150 и его управления	Студент-дипломник
11 Реализация удаленного взаимодействия с ПЛК150	Руководитель проекта на кафедре, студент-дипломник

Продолжение таблицы 3.1

12 Разработка функциональных блоков, реализующие алгоритмы первичной обработки информации в среде CoDeSys на базе контроллера ПЛК150	Студент-дипломник
13 Разработка функционального блока ПИД-регулирования в среде CoDeSys на базе контроллера ПЛК150	Студент-дипломник
14 Разработка функционального блока ШИМ в среде CoDeSys на базе контроллера ПЛК150	Студент-дипломник
15 Разработка программы визуализации САУ в MasterSCADA	Студент-дипломник
16 Проведение экспериментальных исследований	Руководитель проекта на кафедре, студент-дипломник
17 Редактирование и отладка программ	Руководитель проекта на кафедре, студент-дипломник
18 Подготовка методического обеспечения	Студент-дипломник
19 Технико-экономическое обоснование проекта	Студент-дипломник
20 Оценка безопасности и экологичности работы	Студент-дипломник
21 Составление и оформление пояснительной записки	Студент-дипломник
22 Подготовка презентации к защите	Студент-дипломник
23 Защита ВКР	Студент-дипломник

Календарный план-график выполнения работ по теме																	
№ раб.	Наименование работ	Исп.	т/кал	Февраль		Март			Апрель			Май			Июнь		
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
1	Составление задания, постановка целей и задач	Р, С	2	█													
2	Поиск литературы	Р, С	3	█	█												
3	Ознакомление с литературой и технической базой	Р, С	3	█	█	█											
4	Исследование систем автоматического регулирования	С	3		█	█											
5	Изучение программного комплекса CoDeSys	С	2		█	█											
6	Ознакомление со SCADA-системой MasterSCADA	С	2			█	█										
7	Изучение алгоритмов первичной обработки информации	С	3			█	█	█									
8	Изучение алгоритма ПИД-регулирования	С	3				█	█	█								
9	Изучение алгоритма ШИМ-регулирования	С	3					█	█	█							
10	Изучение и анализ способов удаленного взаимодействия с ПЛК150 и его управления	С	6				█	█	█	█	█						
11	Реализация удаленного взаимодействия с ПЛК150	Р, С	5					█	█	█	█	█					
12	Разработка функциональных блоков, реализующие алгоритмы первичной обработки информации в среде CoDeSys на базе контроллера ПЛК150	С	9					█	█	█	█	█	█				
13	Разработка функционального блока ПИД-регулирования в среде CoDeSys на базе контроллера ПЛК150	С	9						█	█	█	█	█	█			
14	Разработка функционального блока ШИМ-регулирования в среде CoDeSys на базе контроллера ПЛК150	С	9							█	█	█	█	█	█		
15	Разработка программы визуализации САУ в MasterSCADA	С	9								█	█	█	█	█		
16	Проведение экспериментальных исследований	Р, С	6									█	█	█	█		
17	Редактирование и отладка программ	Р, С	5										█	█	█		
18	Подготовка методического обеспечения	С	18											█	█	█	
19	Технико-экономическое обоснование проекта	С	9												█	█	
20	Оценка безопасности и экологичности работы	С	6													█	
21	Составление и оформление пояснительной записки	С	11													█	
22	Подготовка презентации к защите	С	3													█	
23	Защита ВКР	С	2													█	

█ руководитель проекта на кафедре
█ студент-дипломник

Рисунок 3.1 – Календарный план-график выполнения работ