

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
вычислительной техники

Кафедра
«Вычислительная техника»

Специальность: 09.05.01 «Применение и эксплуатация
автоматизированных систем специального назначения»
Специализация: «Эксплуатация вычислительных машин, комплексов,
систем и сетей специального назначения»

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

на тему

**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДА ОБКАТКИ
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Студент 09.05.2026 Комраков Андрей Михайлович
(подпись, дата) (ФИО полностью)
Руководитель 01.06.2026 Тарасов Д.А.
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)
Консультанты: по _____
(наименование раздела) (подпись, дата) (фамилия, инициалы)
Нормоконтролёр 01.06.2026 А.С.Бычков
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)
Рецензент доцент ПензГТУ 04.06.26 С.В.Пестерский
(должность, место работы) (подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол зас. кафедры от 22.05.2026 г. № 44)

Заведующий кафедрой М.А. Митрохин
(подпись) (фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой хорошо (протокол заседания ГЭК от
10 июня 2026 № 8)

Секретарь ГЭК Е.И. Гурин

Пенза 2026

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
вычислительной техники

Кафедра
«Вычислительная техника»

«Утверждаю»
Заведующий кафедрой
М.А. Митрохин
« 11 » 02 20 26 г.

ЗАДАНИЕ
НА ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

1. Студент Комраков Андрей Михайлович гр. 21ВОЭ1 факультета Вычислительной техники
2. Тема работы «Система управления стенда обкатки двигателей внутреннего сгорания»

Тема утверждена приказом ПГУ № 122/о от «11.02.2026» 2026 г.

3. Руководитель работы Тарасов Д.А.

4. Задание на работу (назначение разработки, исходные данные и т.п.)

Назначением разработки является создание системы управления стендом обкатки двигателей внутреннего сгорания. Система должна обеспечивать автоматизированное управление для производства обкатки двигателя, вывод и отслеживание показателей с датчиков, а также автоматическое отключение при превышении показателей. Исходными данными для разработки служат типовые аналоги систем управления стендом.

5. Перечень подлежащих разработке вопросов

В ходе выполнения дипломного проекта необходимо провести анализ предметной области и существующих аналогов систем управления обкаточными стендами, обосновать актуальность разработки и сформулировать техническое задание. Следует выполнить выбор среды программирования и языка реализации алгоритмов управления, а также целевого программируемого логического контроллера. Необходимо спроектировать архитектуру системы, включая функциональную схему взаимодействия ПЛК с датчиками и исполнительными механизмами, UML-диаграммы деятельности и сценариев использования. Требуется разработать управляющую программу на языке CFC в среде CODESYS V2.3 с реализацией алгоритмов безопасного пуска, автоматического поддержания режимов обкатки и аварийной защиты. Интерфейс оператора должен быть реализован с использованием встроенных средств визуализации CODESYS с поддержкой двух экранов и отображением ключевых параметров. Кроме того, необходимо выполнить конфигурирование ПЛК-154, настройку частотного преобразователя для управления электродвигателем, а также тестирование разработанной системы на лабораторном стенде. В составе пояснительной записки должны быть представлены разделы по охране труда и экономическому обоснованию проекта.

6. Календарный график выполнения работы

№ п/п	Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя
1.	Изучение предметной области и анализ существующих аналогов	40	11.02.2026-16.02.2026	
2.	Анализ требований и постановка задачи	20	17.02.2026-20.02.2026	
3.	Выбор технологий и оборудования (CodeSys V2.3, CFC, ПЛК-154)	30	21.02.2026-25.02.2026	
4.	Проектирование Функциональной схемы, алгоритмов управления и интерфейса панели оператора	60	26.02.2026-06.03.2026	
5.	Разработка управляющей программы на языке CFC в среде CodeSys V2.3	80	07.03.2026-27.03.2026	
6.	Конфигурирование ПЛК-154, настройка частотного преобразователя и создание HMI-интерфейса	80	01.05.2026-11.05.2026	
7.	Тестирование и отладка программы в режиме эмуляции и на лабораторном стенде	40	12.05.2026-17.05.2026	
8.	Оформление пояснительной записки (включая БЖД и экономику)	20	18.05.2026-21.05.2026	

Дата выдачи задания "11" "02" 2026 г.

Руководитель работы 
(подпись, дата)

Задание к исполнению принял студент Каму
(подпись, дата)

Работу к защите допустить
Декан факультета  С.П. Русаков
04.06.2026 (подпись, дата)

Реферат

Пояснительная записка содержит 92 листа, 67 рисунков, 14 таблиц, 17 источников и 3 приложения.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СТЕНДОМ ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Основной целью является разработка системы автоматизированного управления стендом обкатки двигателей внутреннего сгорания на базе программируемого логического контроллера, обеспечивающего контроль параметров в реальном времени и автоматическое ведение цикла обкатки.

Объектом разработки является управляющая программа для ПЛК и графический интерфейс оператора, которые должны обеспечивать автоматическое переключение режимов нагрузки, мониторинг температуры, давления и частоты вращения, а также аварийную остановку двигателя при выходе параметров за допустимые пределы.

Разработка проводилась в среде программирования CODESYS V2.3. В качестве языков программирования были выбраны Structured Text (ST) для реализации алгоритмов управления и CFC для визуализации технологических блоков. Графический интерфейс оператора разработан во встроенном редакторе визуализации CODESYS.

В результате проведенной работы разработана система, соответствующий поставленной задаче. Разработанная система обеспечивает: автоматическое ведение цикла обкатки по заданной программе, понятный интерфейс оператора с отображением мнемосхемы и графиков реального времени, протоколирование параметров и аварийная защита мотора.

ПГУ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Разраб.	Комраков А.М.			
---------	---------------	--	--	--

Проект	Тарасов Д.А.			
--------	--------------	--	--	--

Н. Контр.	Бачков А.С.			
-----------	-------------	--	--	--

Утв.	Митрохин М.А.			
------	---------------	--	--	--

Система управления стендом
обкатки двигателей внутреннего
сгорания.

Литера	Лист	Листов
--------	------	--------

	2	
--	---	--

ФВТ, каф. ВТ
гр. 21В031

Содержание

Перечень сокращений и обозначений.....	6
Введение.....	7
1 Программа контроля и управления стендом обкатки двигателей внутреннего сгорания	10
1.1 Анализ предметной области	10
1.1.1 Обзор аналогов.....	12
1.1.2 Анализ требований к разработке.....	14
1.1.3 Выбор архитектуры программы.....	15
1.2 Проектирование и разработка.....	30
1.2.1 Конфигурирование ПЛК 154	31
1.2.2 Разработка управляющей программы.....	34
1.2.3 Конфигурирование панели оператора	40
1.3 Анализ результатов.....	52
1.3.1 Тестирование и отладка программы в редакторе CodeSys.....	52
1.3.2 Тестирование и отладка интерфейса панели оператора	54
1.3.3 Тестирование проекта на стенде целевой платформы.....	55
2 Охрана труда.....	59
2.1 Анализ негативных факторов, воздействующих на оператора ПЭВМ и способы их устранения	59
2.1.1 Оборудование рабочего места	60
2.1.2 Освещенность рабочего места	62
2.1.3 Электробезопасность	62
2.1.4 Пожарная безопасность	63

2.1.5 Режим труда и отдыха	64
2.2 Меры безопасности при работе с ПЛК 154 и панелью оператора	65
2.3 Психофизиологические нагрузки и профилактика утомления	66
3 Экономика	68
3.1 Цель и задачи экономического обоснования	68
3.2 Расчет затрат на разработку системы	68
3.2.1 Трудоемкость разработки	69
3.2.2 Расчет заработной платы разработчика	69
3.2.3 Стоимость оборудования и комплектующих	69
3.2.4 Прочие затраты	72
3.2.5 Полная себестоимость разработки	73
3.3 Капитальные затраты на внедрение	73
3.4 Расчет эксплуатационных расходов	75
3.5 Оценка экономической эффективности	77
3.5.1 Исходная ситуация (без автоматизации, без ЧП)	77
3.5.2 После внедрения (автоматизация + частотный преобразователь)	77
3.5.3 Расчёт годовой экономии	78
3.5.4 Чистый годовой экономический эффект	79
3.5.5 Срок окупаемости проекта	80
3.5.6 Сравнение с вариантом без частотного преобразователя	80
3.6 Анализ чувствительности (с ЧП)	81
3.7 Вывод по экономической части	82
Заключение	83
Список использованных источников	86
Приложение А – UML - диаграммы	88

Приложение Б – Схема программ.....	90
Приложение В - Презентация	92

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

Перечень сокращений и обозначений

В настоящей работе применяют следующие сокращения и обозначения

ПК – персональный компьютер

ПЛК – программируемый логический контроллер

ПЛК ОВЕН 154 – программируемый логический контроллер фирмы ОВЕН модель 154

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина

ЧП – частотный преобразователь

CodeSys – среда программирования для создания алгоритмов работы программируемых логических контроллеров

CFC (Continuous Function Chart) – это графический язык программирования высокого уровня, используемый для создания системы автоматизации (ПЛК)

IEC 61131 – международный стандарт, описывающий язык программирования для программируемых логических контроллеров

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления

Modbus RTU – коммуникационный протокол, основан на архитектуре ведущий-ведомый

USB (Universal Serial Bus) – последовательный интерфейс для подключения периферийных устройств к вычислительной технике

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Введение

Необходимость качественной обкатки двигателей внутреннего сгорания имеет место практически во всех сферах, связанных с ремонтом, производством и эксплуатацией транспортных средств и стационарных силовых установок. В зависимости от типа двигателя, условий его дальнейшей эксплуатации или наличия определенного испытательного оборудования, требуется продумывать специфические режимы и программы обкатки. На производстве также следует исходить из автоматизации технологических процессов и имеющихся в наличии ресурсов. Решение данной проблемы возможно найти в автоматизации процесса управления стендом обкатки, тем самым повысив качество приработки деталей, снизив влияние человеческого фактора и обеспечив объективный контроль параметров.

Взаимодействие человека с техническими средствами принято рассматривать в рамках единой функциональной системы «оператор – оборудование». Главная задача, решаемая в такой системе, сводится к двум действиям: трансформации управляющих команд оператора в сигналы для исполнительных механизмов стенда и предоставлению ему точных и актуальных сведений о текущем состоянии двигателя.

При переходе к автоматизации структура управляющей системы существенно усложняется. Теперь она представляет собой совокупность разнородных устройств: датчиков, контроллеров, исполнительных элементов и панелей оператора. Меняется и способ связи с человеком: подача команд и вывод информации осуществляется через множество приборов. В этих условиях оператор остаётся полноправным звеном в контуре управления, а сам процесс обмена данными между ним и техникой получает название человеко-машинного интерфейса.

Если такой интерфейс используется для управления автоматизированным технологическим процессом, его принято называть SCADA-системой (Supervisory Control And Data Acquisition). Дословно этот термин переводится как

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

«диспетчерское управление и сбор данных». Однако на практике его смысл гораздо шире, поскольку современные SCADA-решения обладают широким набором функций, далеко выходящим за рамки буквального перевода.

В рамках управления технологическим процессом обкатки SCADA-система или специализированная HMI-панель получает данные от программируемых логических контроллеров. Эти контроллеры, в свою очередь, собирают информацию с датчиков, установленных на двигателе и стенде (температура охлаждающей жидкости, давление масла, частота вращения коленчатого вала, вибрация и др.), подвергают ее первичной обработке и реализации алгоритмов, управляющих нагрузочными устройствами, а также генерацию управляющих сигналов для исполнительных механизмов. Дополнительно контроллеры обеспечивают обмен данными по промышленной сети и автоматическую аварийную защиту при выходе контролируемых параметров за установленные границы.

Пульт диспетчера, организованный как автоматизированное рабочее место на базе ПК либо специализированной HMI-панели (например, совместимой с CODESYS), решает несколько задач. Он направляет запросы к нижестоящим контроллерам, принимает от них актуальные сведения о процессе обкатки и визуализирует их в удобной для оператора форме: мнемосхемы, графики трендов, цифровые индикаторы, сигнальные табло. Кроме того, пульт осуществляет длительное хранение динамических данных, давая возможность корректировать параметры управляющих алгоритмов — уставки, программы обкатки и вести архив протоколов испытаний для последующего анализа и формирования отчетов.

Таким образом, автоматизация процесса обкатки на базе современных программно-аппаратных средств позволяет не только повысить качество и повторяемость результатов, но и обеспечить безопасность проведения испытаний, снизить нагрузку на оператора и создать объективную доказательную базу приемки двигателя.

Целями данной выпускной квалификационной работы являются:

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- анализ предметной области и обзор существующих аналогов систем управления обкаточными стендами;
- проектирование алгоритмов сбора и обработки данных с датчиков (температуры, давления, частоты вращения);
- разработка управляющей программы для ПЛК на языке SFC в среде CODESYS V2.3;
- создание графического интерфейса панели оператора для контроля параметров и управления циклом обкатки;
- тестирование разработанной системы в режиме эмуляции и на лабораторном стенде;
- подготовка системы к внедрению на производстве.

Разработанная система позволяет повысить точность поддержания режимов обкатки, снизить влияние человеческого фактора, обеспечить автоматическую аварийную защиту двигателя, а также документировать ход испытаний. Внедрение данного решения поможет предприятиям мотороремонтного профиля повысить качество обкатки, сократить время технологических операций и снизить риск аварийных поломок.

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1. Программа контроля и управления стендом обкатки двигателей внутреннего сгорания

1.1 Анализ предметной области

В современных условиях наблюдается интенсивное усложнение технологических процессов ремонта и производства двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Одним из ключевых этапов, обеспечивающих надежность и долговечность двигателя, является его обкатка на специализированных стендах. Обкатка представляет собой процесс приработки трущихся деталей под нагрузкой, выявления скрытых дефектов сборки и проверки работоспособности всех систем. Для эффективного проведения этой операции необходимы автоматизированные системы управления на базе промышленных логических контроллеров (ПЛК), объединяющие сбор данных с объекта испытаний и управление исполнительными механизмами стенда.

Системы управления стендами обкатки имеют широкое применение в авторемонтных мастерских, моторостроительных заводах и научно-исследовательских лабораториях. Ключевой задачей таких систем является обеспечение оператора достоверной информацией о состоянии двигателя в реальном времени и автоматическое поддержание заданных режимов. Например, при обкатке дизельного и бензинового двигателя система позволяет контролировать температуру охлаждающей жидкости, давление масла и частоту вращения коленчатого вала, одновременно управляя нагрузочным устройством стенда.

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	<i>Лист</i>
						10
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Внешний вид установки для обкатки двигателя внутреннего сгорания представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Стенд обкатки двигателей внутреннего сгорания

Приведу примеры производителей создающих стенды для обкатки двигателей внутреннего сгорания:

– ПО “Стнедовое оборудование”, страна производитель Россия, ссылка на сайт производителя – URL: dta-stend.ru

– KronVuz (предположительно, ООО “КронВуз”), страна производитель Россия, ссылка на сайт производителя отсутствует. dta-stend.ru

Предметная область включает в себя механизмы сбора, обработки и визуализации данных от датчиков (термопары, датчики давления, энкодеры оборотов, датчики вибрации), а также формирование управляющих воздействий на исполнительные механизмы (тормозные установки, клапаны, заслонки). Особенностью таких систем является необходимость работы в режиме жесткого реального времени: критически важные параметры должны обрабатываться в каждом цикле ПЛК для мгновенной реакции на нештатные ситуации.

Актуальное значение имеет проблема избыточности информации и высокой плотности данных, поступающих с датчиков. В результате этого происходит снижение удобства взаимодействия с пользовательским интерфейсом и усложнение визуального анализа. Для решения данной проблемы необходимо разработать оптимизированные алгоритмы визуализации – мнемосхемы, тренды реального времени, цветовую индикацию и звуковую сигнализацию позволяющие оператору быстро оценить ситуацию.

Критически важным требованием является обеспечение безопасности и отказоустойчивости. В случае выхода параметра за допустимые пределы система должна автономно, без участия оператора, выполнить аварийную остановку двигателя, воспроизвести звуковую сигнализацию, зафиксировать событие в журнале и перевести стенд в безопасное состояние. Это требование напрямую влияет на выбор архитектуры на базе ПЛК с детерминированным циклом работы.

Таким образом, система управления стендом обкатки, реализуемая на базе ПЛК с средой программирования CODESYS, должна быть ориентирована на:

- циклический сбор и обработку данных с датчиков с гарантированным временем реакции;
- реализацию алгоритмов автоматического управления режимами обкатки на языке МЭК 61131-3 (ST, LD, SFC, CFC);
- интуитивно понятную визуализацию (HMI) с отображением мнемосхем, трендов и аварийных сообщений;
- автоматическую аварийную защиту с остановочным процессом при критических отклонениях;
- протоколирование параметров и событий с возможностью формирования отчетов.

1.1.1 Обзор аналогов

Для определения требований к разрабатываемой системе необходимо рассмотреть существующие аналоги на российском рынке. При проведении анализа учитывалась функциональность пользовательского интерфейса, возможности автоматизации и взаимодействие с измерительным оборудованием.

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для рассмотрения аналогов были выбраны 4 различных типа систем, решающих задачи управления стендами обкатки или близкие к ним: стенды на базе SCADA-систем (например, MasterSCADA, WinCC), специализированные профессиональные комплексы (Horiba, AVL), самодельные решения на микроконтроллерах (Arduino, STM) и универсальные измерительные контроллеры с простым ПО.

SCADA-системы (MasterSCADA, WinCC и др.) предоставляют обширный функционал визуализации, включая создание мнемосхем, трендов, отчетов. Поддержка работы с контроллерами широкая, но требует квалифицированного программирования для реализации специфических алгоритмов обкатки. Интерфейс таких систем часто избыточен, содержит множество настроек, что усложняет работу оператора. Системы достаточно адаптированы для сбора большого количества данных, но автономные функции аварийной защиты требуют тщательной настройки.

Профессиональные стенды Horiba, AVL предоставляют максимально точные измерения, полностью автоматизированные циклы испытаний, интеграцию с базами данных. Однако их стоимость крайне высока, они сложны в обслуживании и ориентированы в первую очередь на научно-исследовательские центры, а не на небольшие ремонтные предприятия. Поддержка видеоконтроля процесса отсутствует либо реализована как опция.

Самодельные стенды на базе микроконтроллеров (Arduino и т.п.) обладают низкой стоимостью и гибкостью, но их функционал ограничен простым отображением цифр на экране, редко включают автоматическое управление нагрузкой и полноценную аварийную защиту. Надежность таких решений часто невысока, а интерфейс примитивен.

Универсальные измерительные контроллеры с ПО (например, OVEN, ICP DAS) предоставляют базовые средства мониторинга и регистрации, но автоматическое управление обкаткой в них не реализовано либо требует сложной настройки. Визуализация ограничена простыми индикаторами и графиками.

Сравнительная таблица аналогов представлена в таблице 1.

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 1 – Сравнительная таблица аналогов

Критерий	SCADA-системы	Horiba/ AVL	Самодельные (Arduino)	ПЛК Siemens/OBEN	Разрабатываемая система (<u>CodeSys</u>)
Детерминированный цикл управления	Требуется внешний ПЛК	Да	Нет	Да	Да
Программирование по МЭК 61131-3	Частично	Закрытое ПО	Нет	Специфичное для вендора	Да (стандарт)
Гибкость и независимость от железа	Нет	Нет	Частично	Нет	Да (широкая поддержка платформ)
Встроенная визуализация (HMI)	Да (SCADA)	Да	Примитивная	Требуется внешнее HMI	Да (<u>WebVisu</u> , <u>TargetVisu</u>)
Аварийная защита и остановка	Требуется настройка	Да	Редко	Да	Да
Протоколирование и тренды	Да	Да	Нет	Через внешние системы	Да (встроенные тренды)

Проведенный анализ показывает, что существующие решения либо избыточно дороги и закрыты (Horiba, AVL), либо требуют привязки к конкретному производителю (Siemens), либо не обеспечивают необходимой надежности (Arduino). Разрабатываемая система на базе CODESYS сочетает открытость, соответствие стандарту МЭК 61131-3, гибкость выбора аппаратной платформы и встроенные средства визуализации, что делает её конкурентоспособной и актуальной для предприятий различного масштаба.

1.1.2 Анализ требований к разработке

На основе анализа предметной области и обзора существующих похожих решений сформулирована общая цель дипломной работы.

Целью дипломной работы является разработка автоматизированной системы управления стендом обкатки двигателей внутреннего сгорания, обеспечивающей контроль параметров и визуализацию данных в реальном времени.

Для достижения указанной цели требуется решить следующий комплекс задач:

- создать алгоритмическое обеспечение для опроса и предварительной фильтрации сигналов, поступающих от датчиков температуры, давления и частоты вращения;
- написать программу, обеспечивающую автоматическое управление обкаточным циклом, с использованием языка CFC (допускается также Structured Text) в инструментальной среде CODESYS;
- выполнить настройку модулей аналогового и дискретного ввода-вывода выбранного ПЛК для корректного подключения датчиков и исполнительных устройств;
- спроектировать интерфейс оператора (HMI) средствами встроенного редактора визуализации CODESYS, предусмотрев отображение мнемосхемы, графиков трендов в реальном времени и органов управления;
- внедрить подсистему аварийной сигнализации, которая при превышении допустимых значений параметров инициирует автоматическую остановку двигателя;
- организовать запись контролируемых параметров в энергонезависимую память с временной меткой (ведение трендов), а также формирование итогового отчёта по завершении обкатки;
- добавить механизм рецептов, позволяющий гибко настраивать программу обкатки для разных типов двигателей;
- разработать интуитивно понятный интерфейс, сводящий к минимуму число действий, выполняемых оператором.

1.1.3 Выбор архитектуры программы

Необходимо обеспечить обмен данными между оператором и программой, исполняемой на ПЛК. Функционирование контроллера описывается последовательностью этапов, образующих рабочий цикл:

- текущие состояния входных цепей автоматически фиксируются в соответствующих ячейках входной памяти (число ячеек соответствует количеству входов – $I1 \dots In$);
- управляющая программа считывает значения из этих ячеек и производит над ними логические преобразования согласно заложенному алгоритму;
- по завершении обработки полученные результаты передаются на физические выходы устройства, управляя исполнительными элементами $Q1 \dots Q4$;
- далее выполнение переходит к начальному этапу, и описанная последовательность повторяется.

Длительность полного цикла обработки напрямую зависит от сложности реализованного алгоритма. На рисунке 2 представлена функциональная схема, иллюстрирующая порядок выполнения программы в ПЛК. [1]



Рисунок 2 – Функциональная схема выполнения программы ПЛК

Обмен данными между оператором и контроллером строится по схеме «ведущий-ведомый», где роль ведущего (master) выполняет панель оператора, а роль ведомого (slave) — ПЛК, подключённый к ней через интерфейс RS-485. В данном стандарте физического уровня передача данных осуществляется по витой паре с применением дифференциальных сигналов. Такой подход обеспечивает высокую помехоустойчивость, особенно к синфазным помехам. Логическому нулю

и единице соответствуют разности напряжений разной полярности: одна полярность — логическая единица, противоположная — логический ноль [2].

С учётом необходимых функций, выбранной архитектуры и используемой аппаратной платформы был определён следующий инструментарий для разработки: графический язык функциональных блоков FBD (по стандарту МЭК 61131-3), среда программирования CodeSys V2.3, встроенное средство конфигурирования панели оператора, а также операционная система Microsoft Windows 10.

Функциональная схема для стенда обкатки двигателя внутреннего сгорания представлена на рисунке 3, а также ниже приведено описание алгоритма работы самого стенда и его подключение.

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

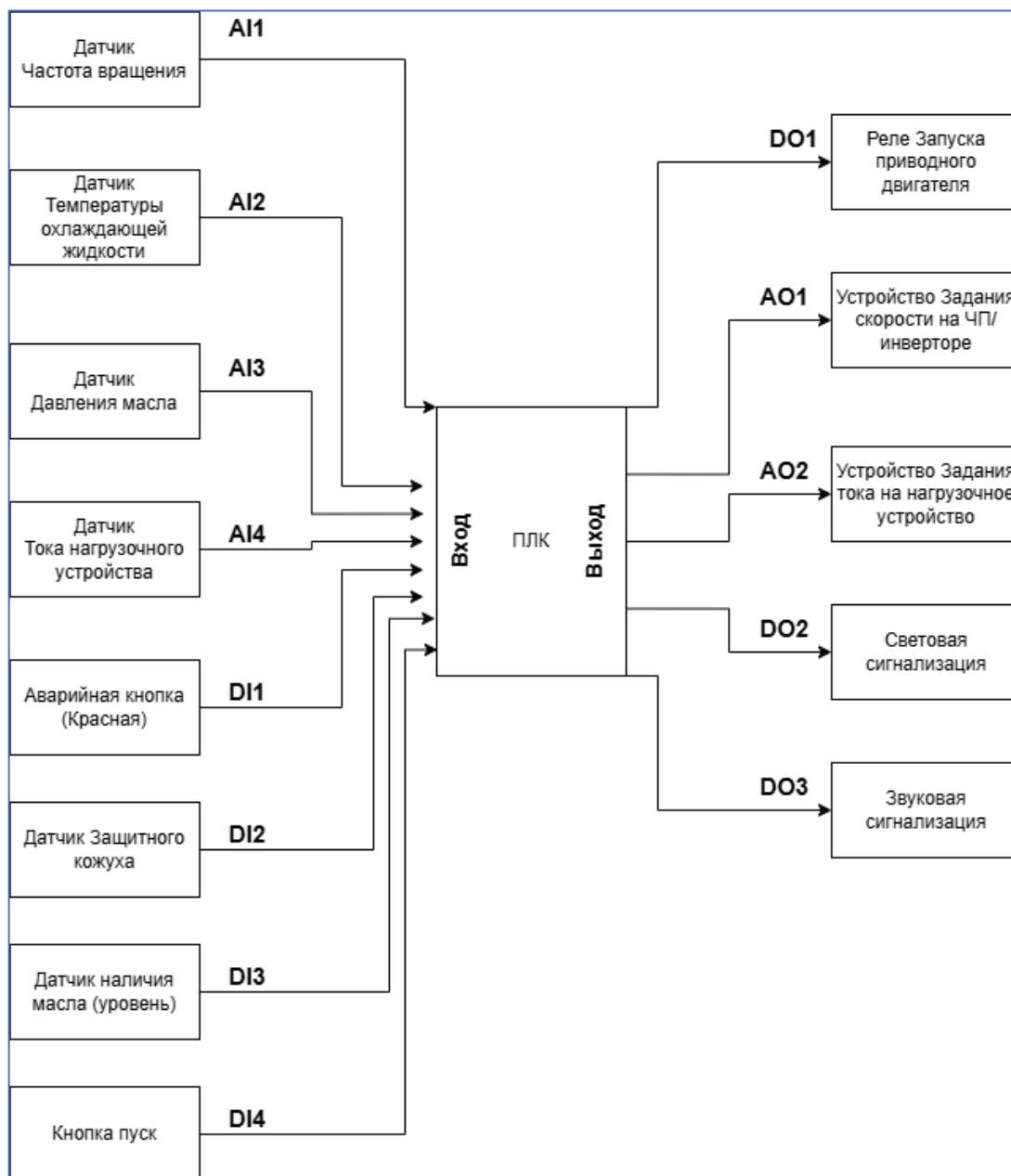


Рисунок 3 – Функциональная схема для стенда обкатки двигателя внутреннего сгорания

Алгоритм работы данной схемы.

Сперва необходимо подключить все датчики к ПЛК, для того чтобы мы могли получать данные, которые будут нужны для обработки выходных сигналов и установок определенных значений, для корректной работы стенда.

Для считывания частоты вращения необходимо подключить датчик, который будет передавать показания с вала электродвигателя в ПЛК, чтобы оператор мог

отслеживать обороты электродвигателя, а также изменять значения в определенный момент производства обкатки. В зависимости от условий обкатки.

Для считывания температуры охлаждающей жидкости должна присутствовать система охлаждения двигателя, для того чтобы он не перегревался, а так присутствовать датчик температуры охлаждающей жидкости, который будет передавать данные о температуре в реальном времени на панель оператора. Он необходим для системы защиты от перегрева мотора, данные о верхнем пределе защиты от перегрева заданы в самом ПЛК и в случае достижения данного предела система будет экстренно остановлена и выдаст аварию.

Датчик давления масла. Он необходим для получения показаний и защиты двигателя от заклинивания в случае, если не будет давления масла, то сработает защита, которая остановит электродвигатель и выдаст аварию.

Аварийная кнопка (Красная) – необходима для экстренной остановки электродвигателя в случае механических повреждений двигателя, а также самой установки.

Датчик защитного кожуха – он необходим для того, чтобы оператор не получил никаких травм в случае вылет каких-либо частей от двигателя или установки, а также в случае, если он не будет закрыт, то установка не будет работать и будет ожидать сигнала с датчика.

Датчик наличия масла (уровень) – необходим для работы установки, принцип его работы заключается в том, что в двигателе должен быть уровень масла, в случае его отсутствия станок не будет работать до тех пор пока не появится сигнал о достаточном уровне масла.

Кнопка пуска – выполняет запуск станка обкатки двигателя внутреннего сгорания.

Реле запуска приводного двигателя – после нажатия кнопки пуска происходит срабатывания реле запуска электродвигателя и начинается процесс обкатки.

Устройство задания скорости на ЧП/инверторе – данные выходной сигнал задает определенное количество оборотов на электродвигателе, которые в

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

последствии считываются датчиком частоты вращения и передаются на панель оператора.

Устройство задания тока на нагрузочное устройство – задает максимально допустимый ток нагрузки для работы электродвигателя и в случае превышения этого параметра происходит остановка системы и выдается авария.

Световая сигнализация – необходима для визуального наблюдения, в случае когда она загорается, означает, что произошла авария во время обкатки и необходимо определить, что произошло и устранить.

Звуковая сигнализация – выполняет те же действия что и световая.

Разработка пользовательского интерфейса для панели оператора, обеспечивающего взаимодействие с оператором, выполняется непосредственно в среде программирования.

1.1.4 Выбор языка программирования

В качестве основного языка реализации алгоритмов был выбран CFC (Continuous Function Chart).

Данный язык относится к группе графических языков программирования высокого уровня, развивающих возможности FBD, и входит в состав стандарта IEC 61131-3. CFC предназначен для разработки управляющего программного обеспечения для программируемых логических контроллеров. Алгоритм строится путём компоновки готовых функциональных блоков на рабочем поле [3].

Функциональный блок может представлять собой подпрограмму, отдельную функцию или логический элемент (конъюнкция, дизъюнкция, отрицание, триггерные схемы, таймеры, счётчики, модули аналоговой обработки, арифметические операции и т.п.) [3].

Каждая логическая цепь представляет собой графически составленное выражение, где выход одного блока подключается ко входу следующего, формируя последовательную цепочку. Внутри такой цепи блоки исполняются строго в порядке их соединения. Результат вычисления цепи сохраняется во внутренней переменной либо направляется на физический выход контроллера [3].

На рисунке 4 приведён пример реализации фрагмента программы на языке CFC (FBD) в инструментальной среде CodeSys V2.3.

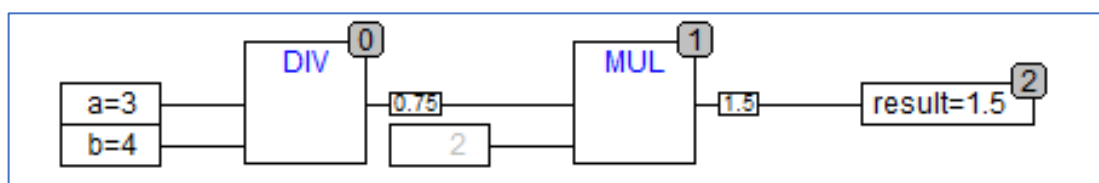


Рисунок 4 – Пример фрагмента программы

Та же самая функция на псевдокоде:

```
result : = 2*(a/b);.
```

Язык CFC (FBD) отличается простотой освоения, наглядностью и удобством для инженеров-прикладников, не обладающих глубокими знаниями в области информатики. Благодаря жёстко заданной последовательности исполнения формируется простая внутренняя структура команд, которая компилируется в быстрый и надёжный машинный код. Кроме того, CFC (FBD) наглядно демонстрирует связи между входами и выходами диаграммы. Если алгоритм тщательно проработан с точки зрения распространения сигналов, его представление в виде CFC (FBD)-диаграммы оказывается более понятным, чем реализация на текстовых языках программирования [3].

1.1.5 Выбор среды разработки

С учётом выбранной целевой платформы в качестве среды разработки была выбрана CodeSys V2.3, которая оснащена встроенными средствами для создания графического интерфейса.

CodeSys V2.3 – среда программирования, предназначенная для создания прикладного программного обеспечения для промышленных логических контроллеров (ПЛК) и других устройств автоматизации, поддерживающих стандарт МЭК 61131-3 [3].

Данная среда разработки предоставляет возможность создавать программы автоматизации по индивидуальному алгоритму, выполнять их отладку с использованием встроенных симуляционных средств и загружать готовый код в

энергозависимую память контроллера. При написании программ применяется графический язык CFC (FBD), соответствующий стандарту МЭК 61131-3 [3].

Среда распространяется бесплатно и доступна для загрузки на официальном сайте производителя (рисунок 5).

На веб-странице CodeSys, помимо ссылки на загрузку установочного файла, размещено описание функциональных возможностей среды, указаны системные требования, приведены ссылки на техническую документацию, а также представлена форма для обратной связи. Для инициации загрузки необходимо прокрутить страницу вниз и выбрать требуемую версию продукта, как показано на рисунке 6.



Рисунок 5 – Страница загрузки среды программирования на сайте производителя

Среда программирования	
CODESYS версия 2.3.9.41 (Русифицированная версия)	Скачать
Русификатор для CoDeSys (для версии 2.3.8.1)	Скачать
CODESYS версия 2.3.8.1 (Англоязычная версия)	Скачать

Рисунок 6 – Область загрузки среды программирования на сайте

При нажатии на кнопку «Скачать» инициируется загрузка архивного файла, в котором находится установочный дистрибутив CodeSys V2.3. Ход загрузки отображён на рисунке 7.

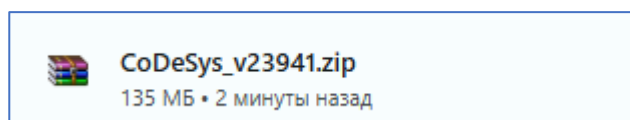


Рисунок 7 – Загрузка архива с установочным файлом
среды программирования

После завершения загрузки архив необходимо распаковать. Затем следует запустить исполняемый файл CoDeSys_v23941.exe (название версии может меняться по мере выхода обновлений), после чего начнётся процесс инсталляции. Этапы установки среды CodeSys проиллюстрированы на рисунках 8–10.

При запуске установочного модуля на экране появляется окно CoDeSys for Automation Alliance, и инсталляция выполняется в автоматическом режиме. Внешний вид данного окна приведён на рисунке 6.

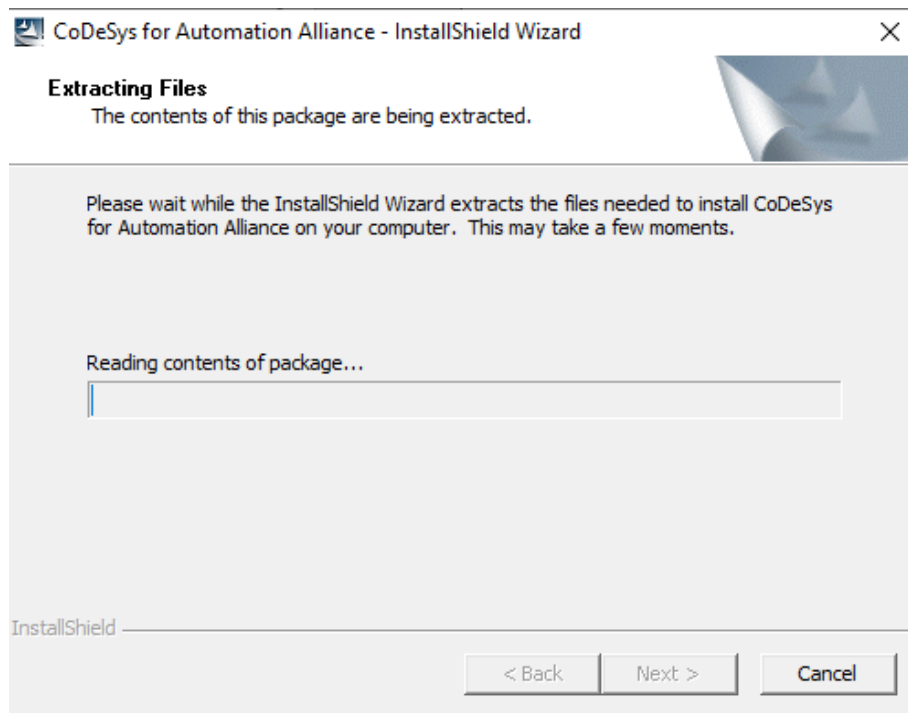


Рисунок 8 – Окно установки CodeSys

Далее, на рисунке 9, требуется выбрать тип установки выборочный переустановка, либо удаление, если среда была ранее установлена.

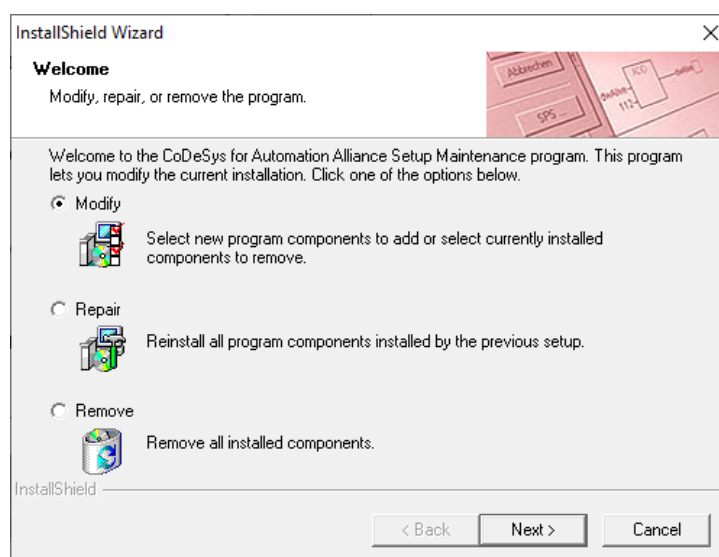


Рисунок 9 – Выбор типа установки

На рисунке 10 представлено окно с выбором определенных файлов для установки среды.

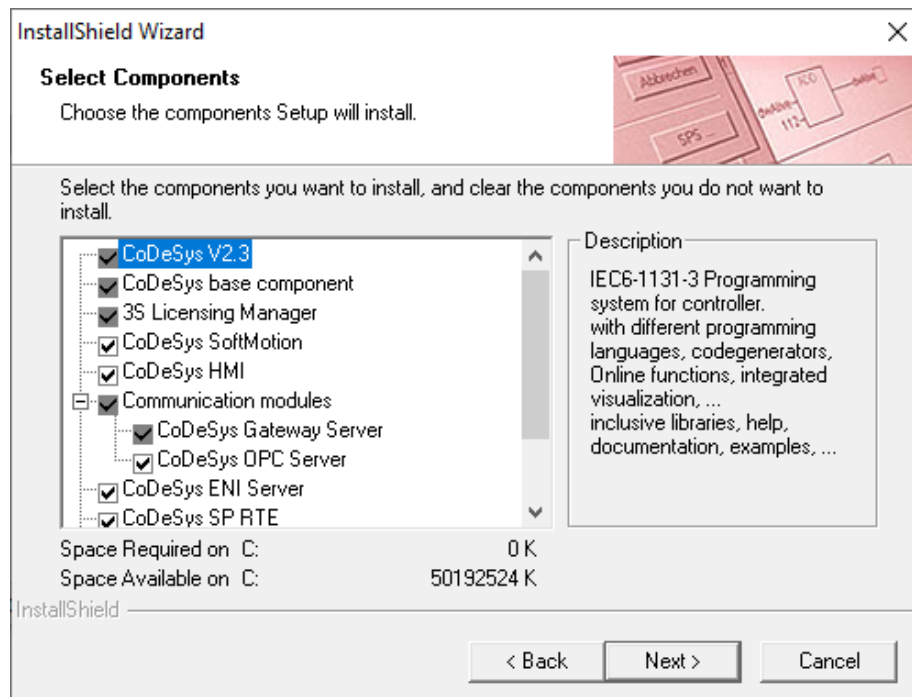


Рисунок 10 – Окно выбора файлов для среды CodeSys

На рисунке 11 показано окно установки самой среды

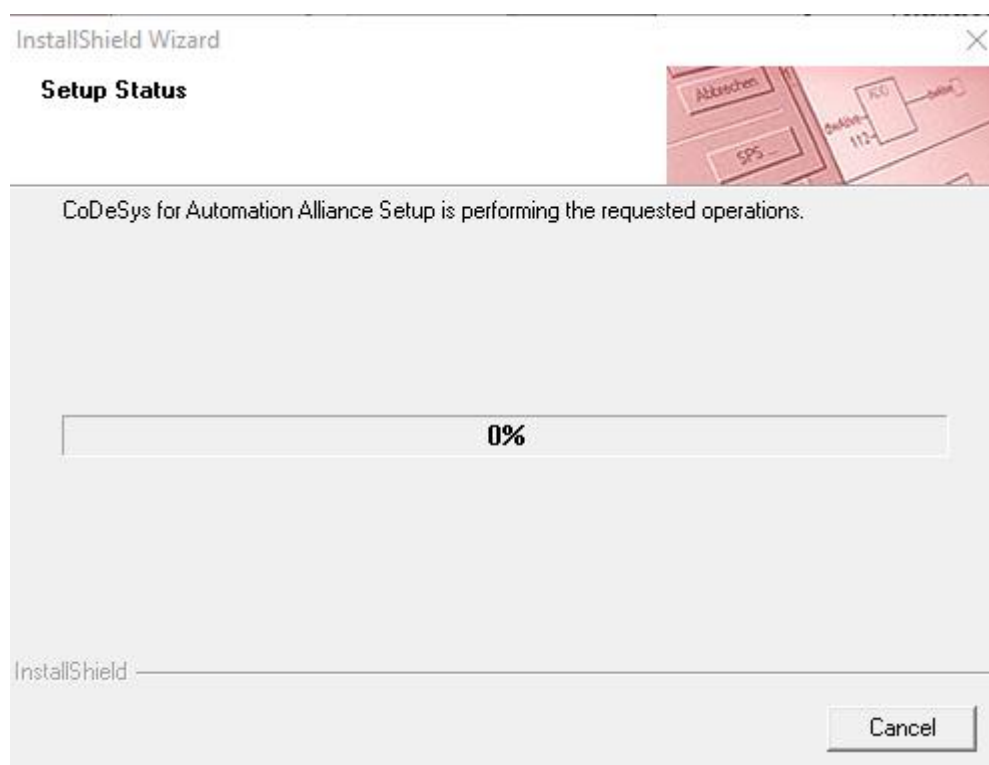


Рисунок 11 – Окно окнчания установки

На рисунке 12 показано Главное окно, открывающееся после запуска CodeSys.



Рисунок 12 – Окно CodeSys

Чтобы приступить к работе в среде CodeSys, необходимо создать новый проект. Сделать это можно через пункт меню «Файл» (см. рисунок 13). Если проект не создан, большинство основных функций среды останутся недоступными для пользователя.

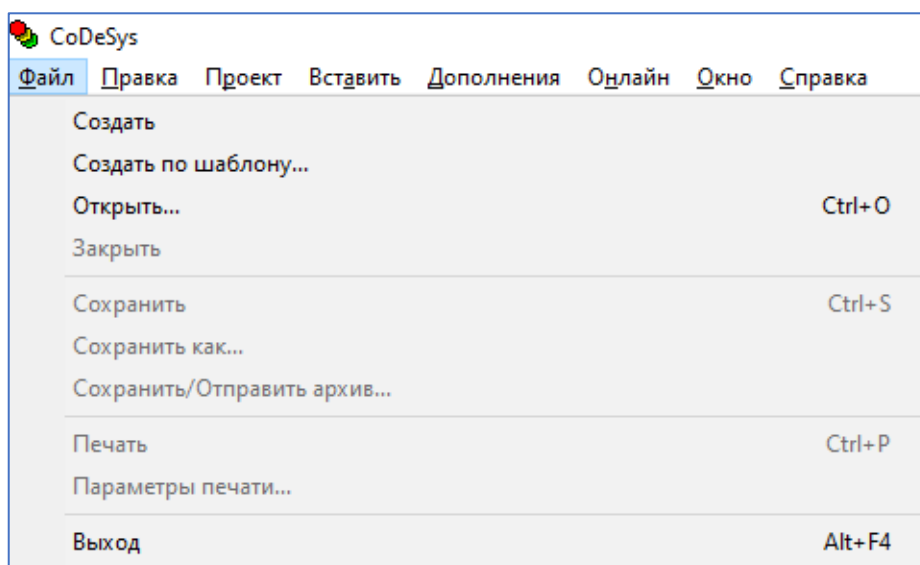


Рисунок 13 – Начало создания нового проекта в среде CodeSys

На рисунке 14 показана панель инструментов среды программирования CodeSys.

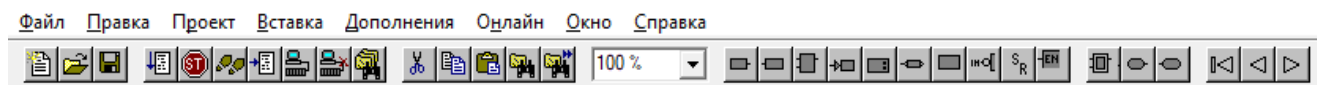


Рисунок 14 – Панель инструментов CodeSys

Для запуска проекта в режиме эмуляции необходимо на панели инструментов открыть через меню “Онлайн”, как это показано на рисунке 15, и выбрать пункт “Режим эмуляции”.

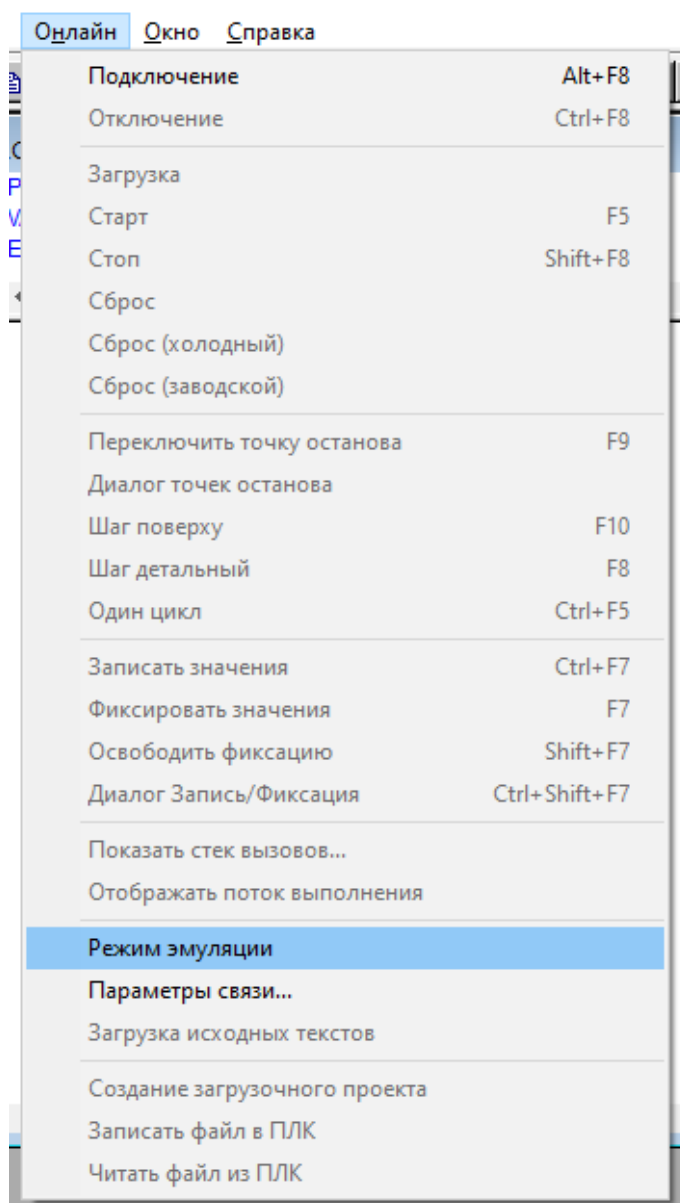


Рисунок 15 – Выбор режима эмуляции

Также в данной среде можно настроить выбранный ПЛК, перейдя по вкладке “Ресурсы”, можно задать ему переменные во вкладке “Конфигурация ПЛК”, как представленно на рисунке 16.

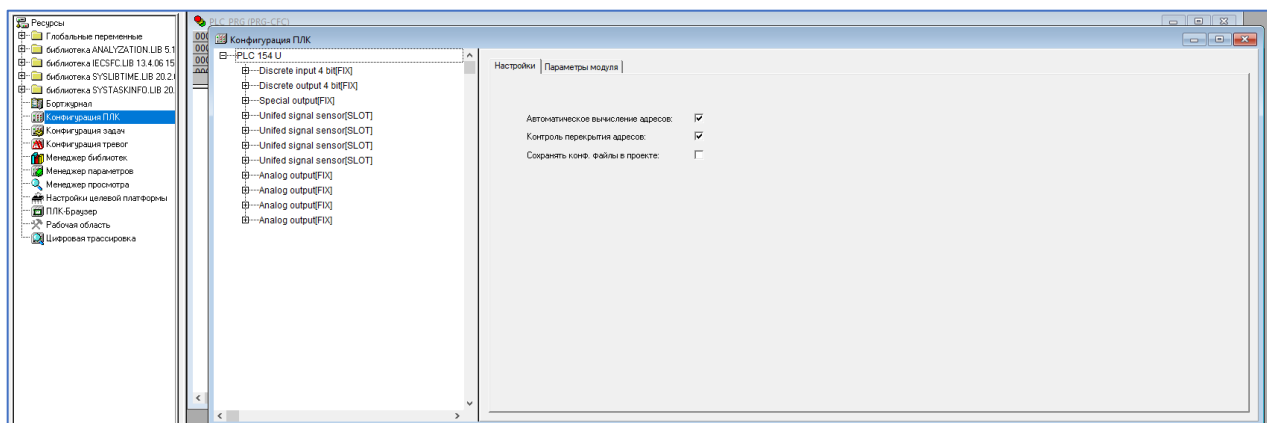


Рисунок 16 – Окно с конфигурацией ПЛК

Также в данной вкладке находятся библиотеки компонентов CodeSys рисунок 17.

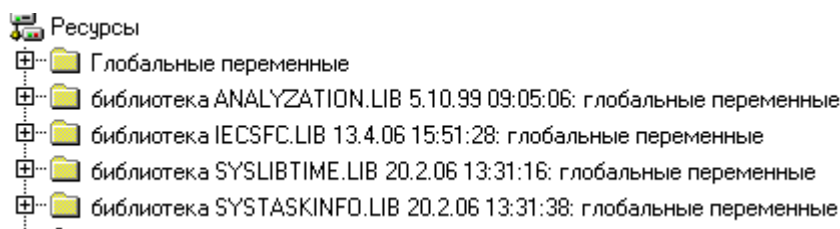


Рисунок 17 – Библиотеки компонентов

Рассматриваемая среда разработки включает встроенные средства для создания графического интерфейса. Чтобы воспользоваться ими, требуется открыть вкладку «Визуализация» (рисунок 18), после чего добавить в проект объект визуализации (рисунок 19).

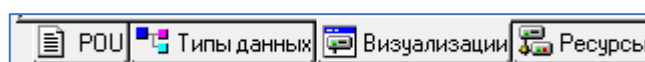


Рисунок 18 – Вкладка “Визуализации”

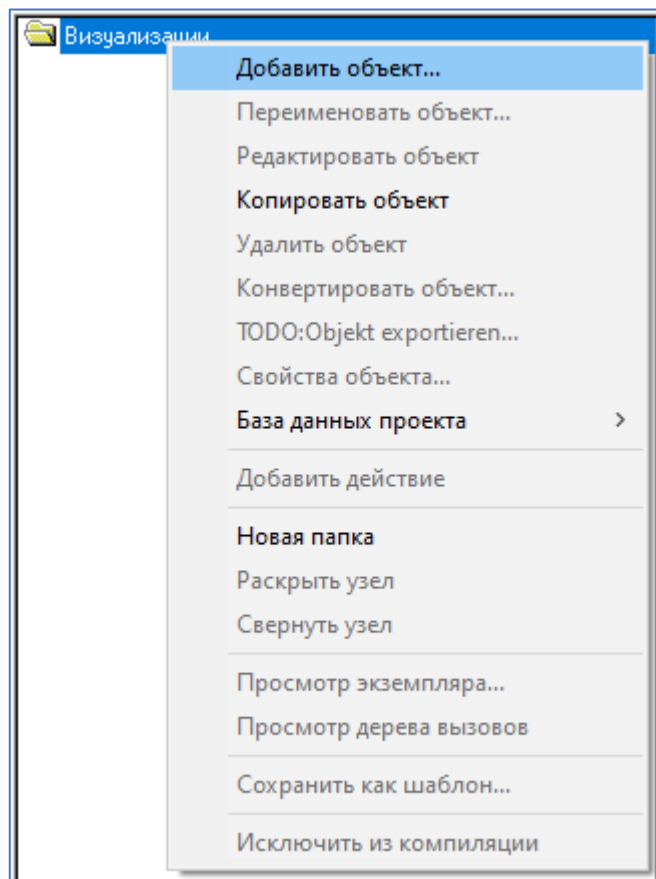


Рисунок 19 – Добавление объекта визуализации

В результате добавления объекта отображается новое окно, содержащее название визуализации, а также панель с инструментарием для конструирования и настройки интерфейса, что продемонстрировано на рисунке 20.

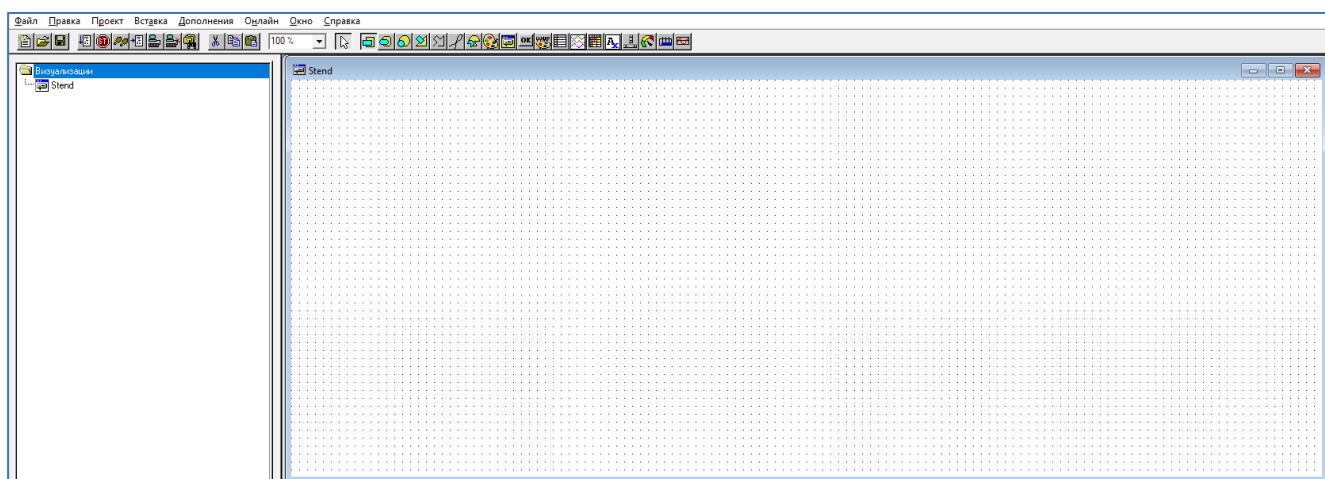


Рисунок 20 – Окно визуализации и панель инструментов

Элементы созданные на холсте могут быть изменены с помощью конфигуратора элементов, представленного на рисунке 21.

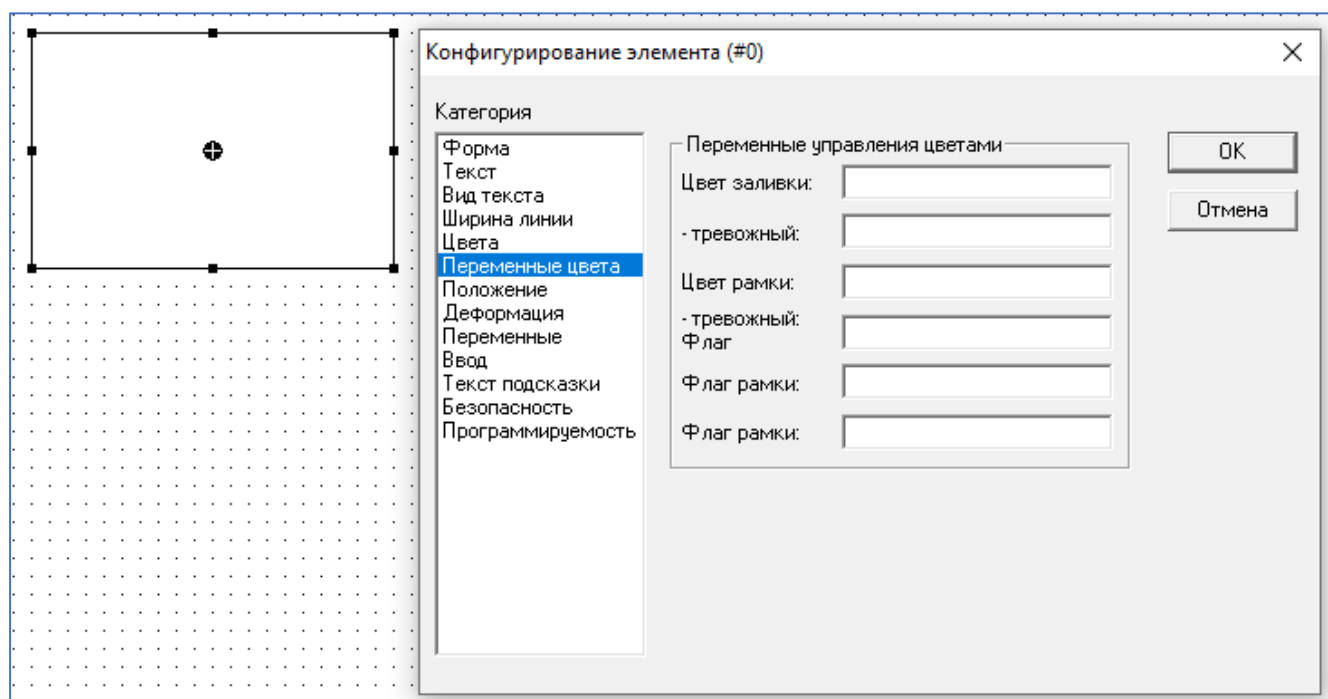


Рисунок 21 – Конфигуратор элемента

1.2 Проектирование и разработка

В состав разработанного проекта входят два основных компонента: управляющая программа и интерфейс панели оператора, сформированный средствами конфигуратора. После подачи питания контроллер с загруженной в него программой и подключённая панель оператора автоматически запускаются. Оператор взаимодействует с управляющей программой ПЛК через графическую оболочку, отображаемую на панели.

Пользователь может выставить параметры оборотов вращения электродвигателя, а также нагрузочный ток устройства для запуска станка. Остальные параметры, такие как температура охлаждающей жидкости, давление масла внесены в сам контроллер и не настраиваются пользователем. В случае если эти параметры не будут соответствовать или же будут превышать нормальное значение, то станок будет автоматически отключаться и выдаст сигнал об аварии.

1.2.1 Конфигурирование ПЛК 154

ОВЕН ПЛК 154 – это программируемый логический контроллер, который может быть установлен на 35-мм DIN-рейку. На рисунке 22 представлен внешний вид прибора. На данном контроллере на лицевой панели расположены индикаторы режимов работы (“Работа”, “Авария”, “Связь”) и входа и выхода. Он имеет 4 дискретных входа и 4 дискретных выхода, которые отвечают за электромагнитные реле, а также имеет 4 аналоговых входа и 4 аналоговых выхода. Для интеграции в SCADA-системы и обмена данными с внешними устройствами контроллер имеет интерфейсы RS-485, Ethernet и USB.

Создание и описание алгоритма было осуществлено на языке CFC (FBD) с помощью бесплатной среды программирования CodeSys v2.3. Загрузка алгоритма может быть произведена через интерфейсы RS-232 или Ethernet.

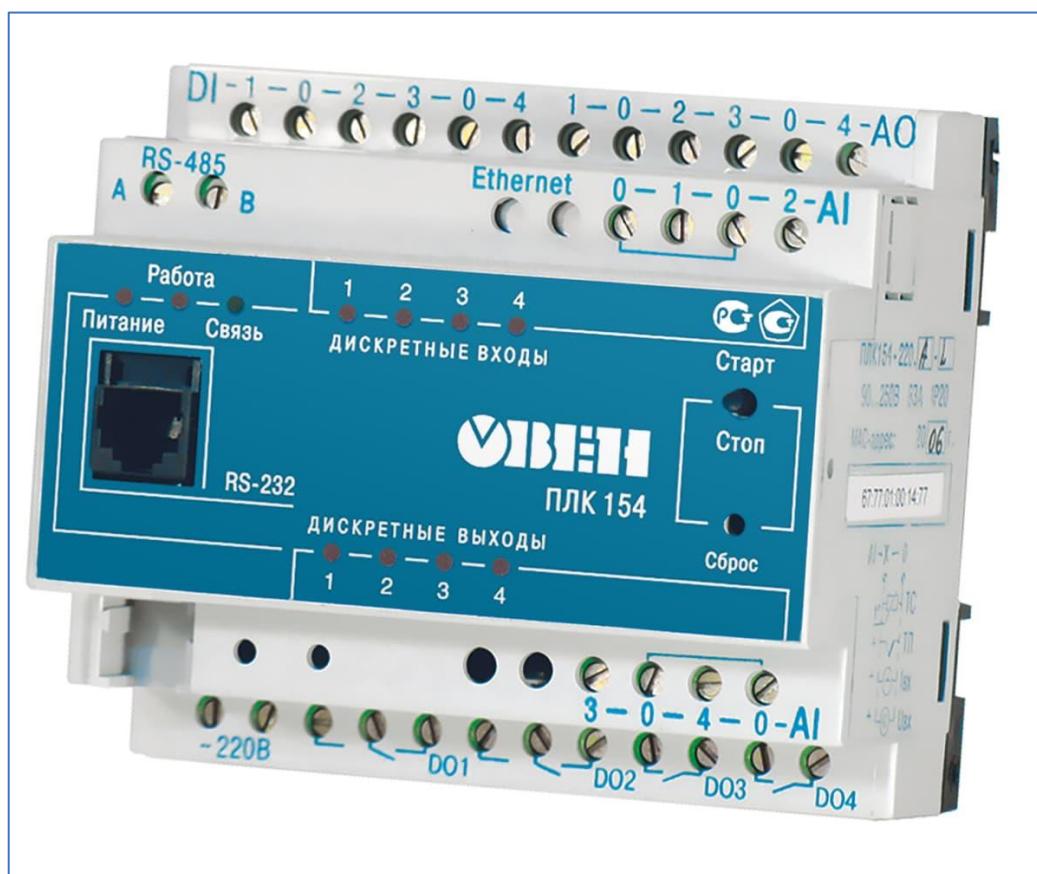


Рисунок 22 – Прибор ОВЕН ПЛК 154

Был создан новый проект в редакторе CodeSys 2.3. В появившемся окне “Настройка целевой платформы”, как на рисунке 23 выбрали тип устройства PLC154 U-M

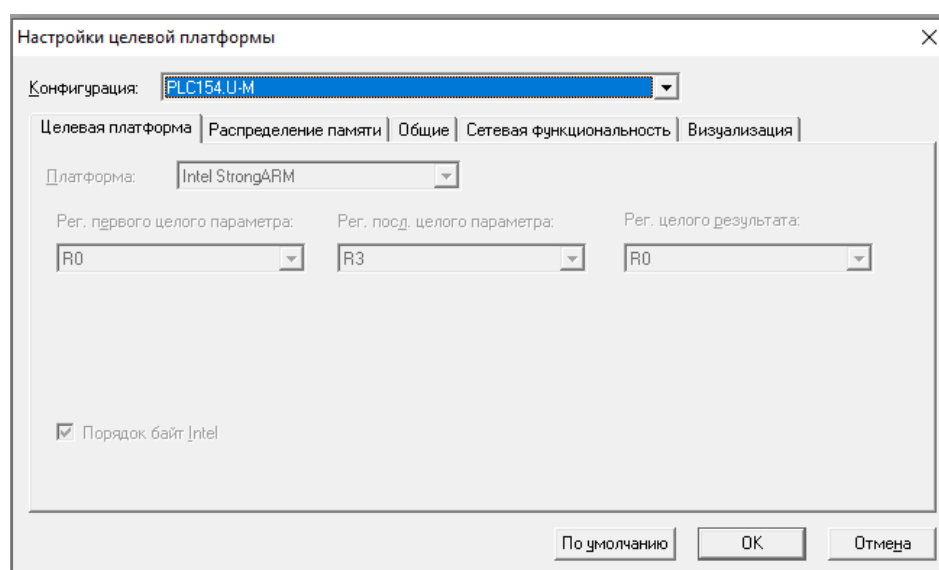


Рисунок 23 – Окно “Настройка целевой платформы”

После чего продолжается настройка проекта в окне “Новый программный компонент (POU)”, представленный на рисунке 24, выставлены параметры как показано на рисунке.

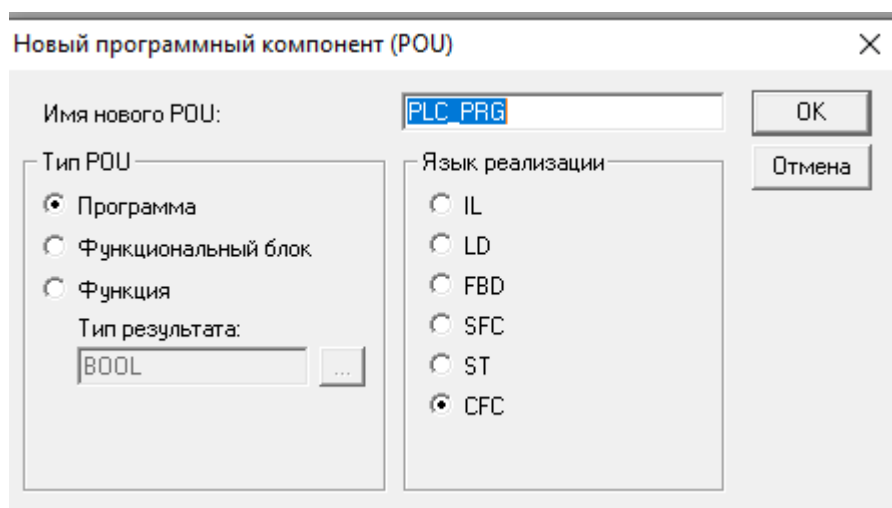


Рисунок 24 – Окнов “Новый программный компонент (POU)”

После чего заходим во вкладку “Ресурсы” и переходим в “Конфигурацию ПЛК”, для дальнейшей настройки проекта.

На рисунке 25 показано окно с описанием каждого входа и выхода из контроллера, которым были присвоены свои названия переменных.



Рисунок 25 – Окно настройки ПЛК

1.2.2 Разработка управляющей программы

По завершении конфигурации контроллера был инициирован этап проектирования управляющей программы. Опираясь на цель работы, составили схему алгоритма её функционирования. Данная схема представлена на рисунке 26, а её продолжение — на рисунке 27.

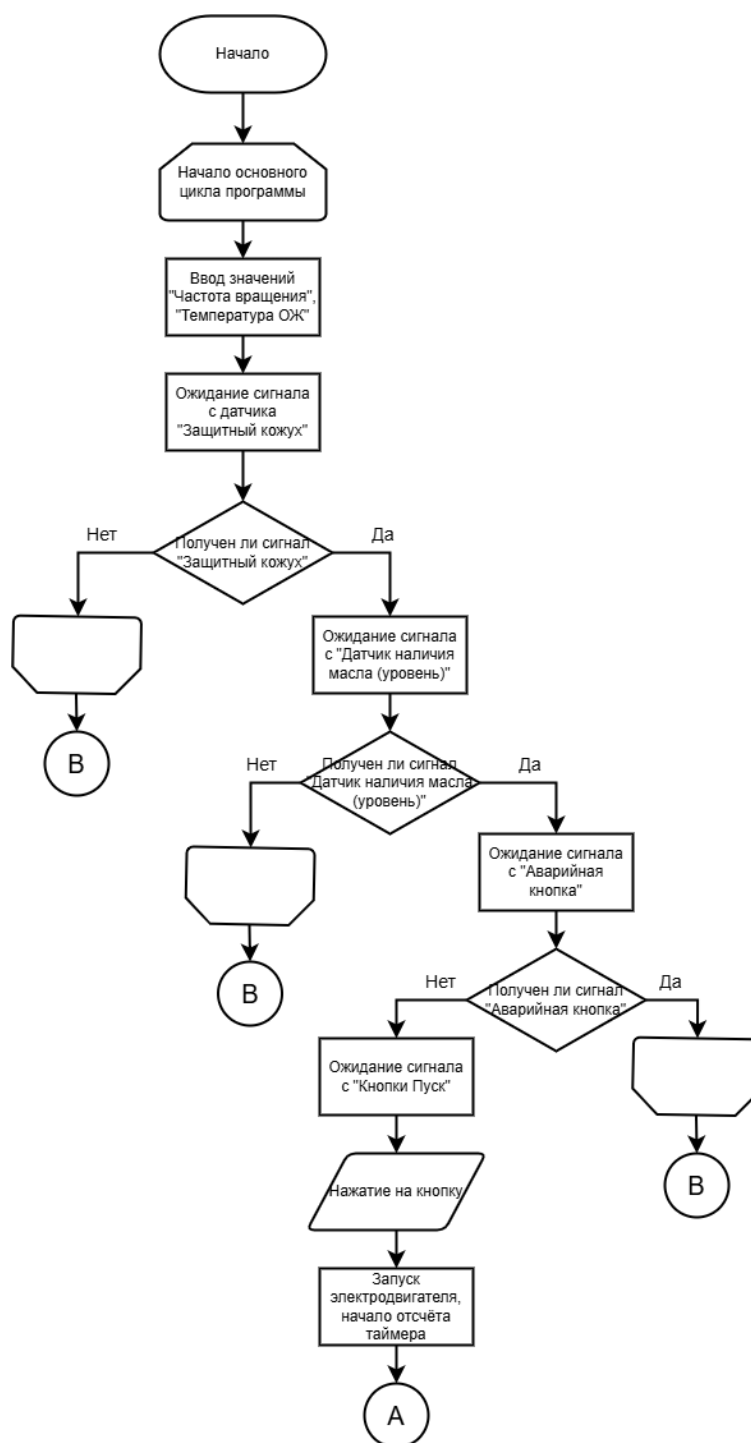


Рисунок 26 – Схема работы управляющей программы

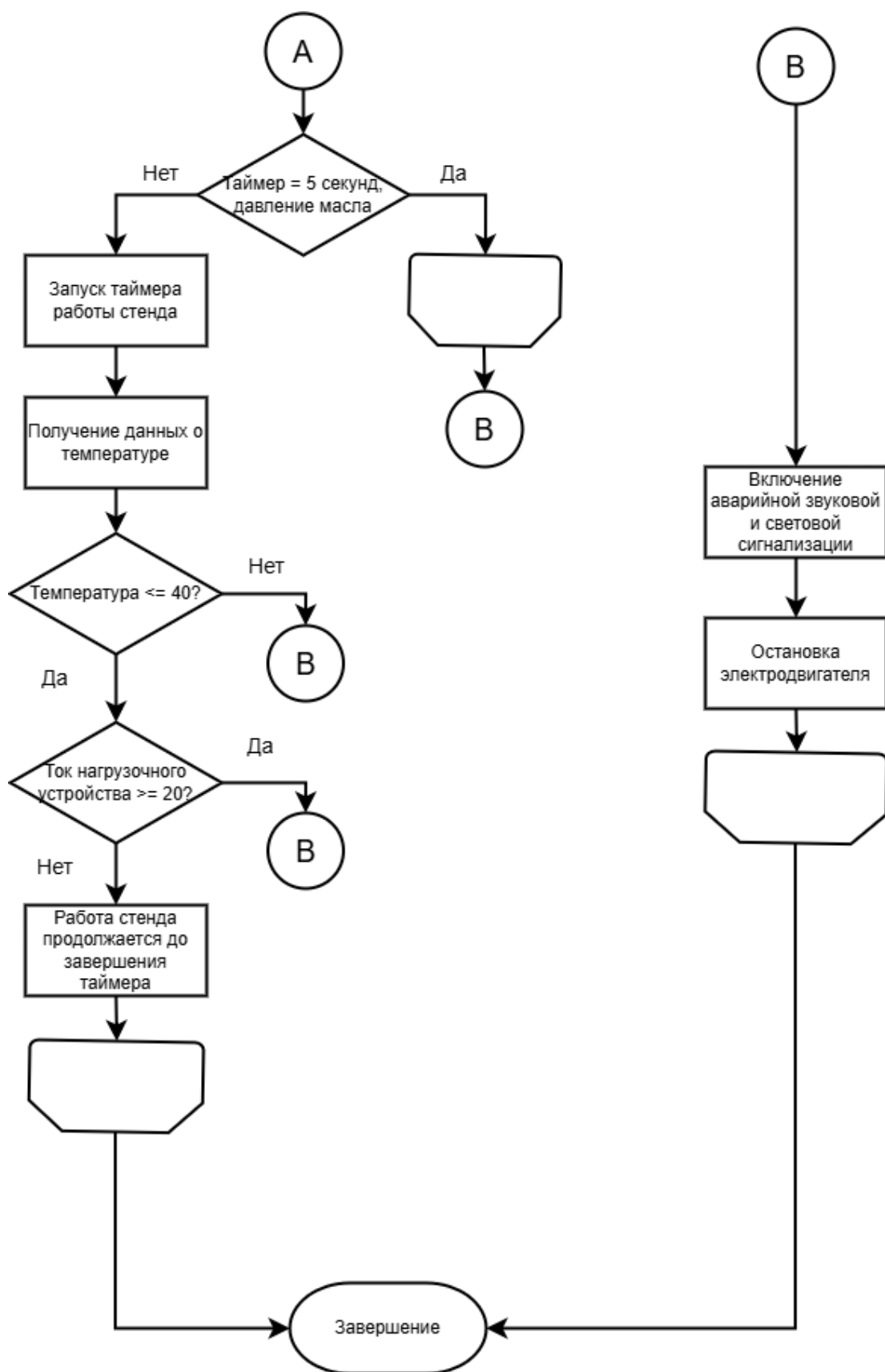


Рисунок 27 – Схема работы управляющей программы

Для организации взаимодействия с клавишами для ввода значения количества оборотов, а также функциональные кнопки “Пуск”, “Авария” был использован следующий алгоритм. Считывание нажатия осуществляется с помощью входов в контроллер, после чего начинается процесс работы стенда. В данной программе алгоритм описан следующим образом. В начале происходит проверка сигналов с кнопок, таких как “Аварийная кнопка”, должен быть равен 0, т.к. кнопка не задействована, “Защитный кожух” сигнал должен быть равен 1, т.к. он указывает на опущенный защитный кожух, в случае, если он равен 0, то стенд не запустится, “Датчик наличия масла (уровень)”, должен быть равен 1, в случае, если он равен 0, то стенд не запустится. Фрагмент вышеописанной логики представлен на рисунке 28.

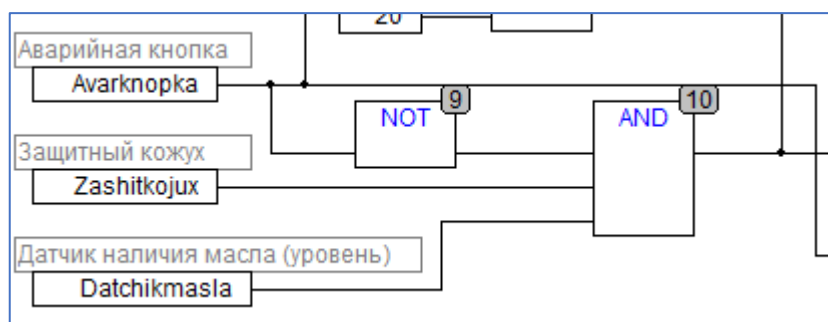


Рисунок 28 – Начало создания логики считывания нажатия клавиш ввода

В данной логике используются логические элементы, такие как NOT (отрицание), AND (логическое И), OR (логическое ИЛИ). Элементы сравнения LE ($\leq$), GE ($\geq$). Элементы арифметической логики MUL (умножение), DIV (деление). Данные элементы необходимы для корректной работы стенда, которые контролируют входящие значения и сигналы.

Когда все показания в норме и сигналы приходят правильные, то стенд можно запустить. После чего начинается процесс безопасного запуска. Включается таймер, который фиксирует время до получения сигнала с датчика “Давление масла”, если с него не приходит сигнал, то стенд останавливается и включается Аварийная звуковая и световая сигнализация. В случае, если с датчика поступил

сигнал равный 1, то таймер останавливается и станд продолжает свою работу. Фрагмент описанной логики представлен на рисунке 29.

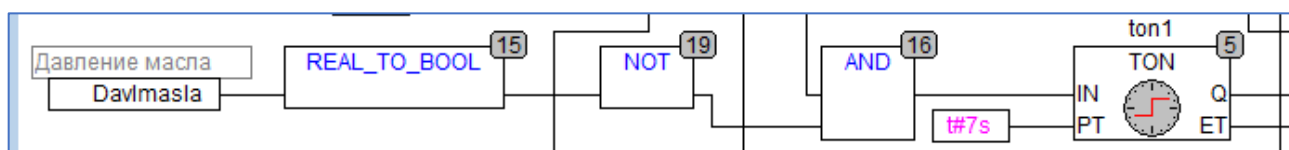


Рисунок 29 – Фрагмент логики защиты от работы станда без давления масла

Таймер TON (Timer On-Delay) таймер с задержкой включения, используется для безопасного запуска. Внешний вид таймера TON показан на рисунке 30. Его работу объясняет приведенная на рисунке 31 диаграмма.

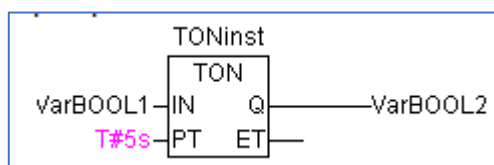


Рисунок 30 – Внешний вид таймера TON

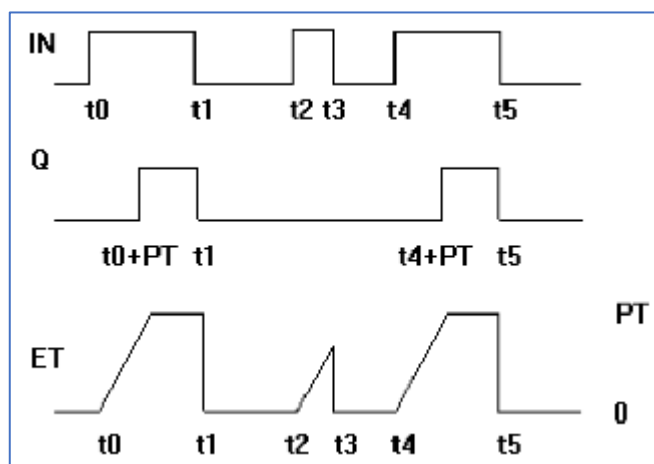


Рисунок 31 – Диаграмма работы таймера TON

Когда данный процесс выше был выполнен и станд запустился, то начинается отсчёт времени работы станда, для этого был использован таймер TOF с задержкой отключения выхода. Внешний вид таймера TOF показан на рисунке 32. Его работу объясняет приведенная на рисунке 33 диаграмма.

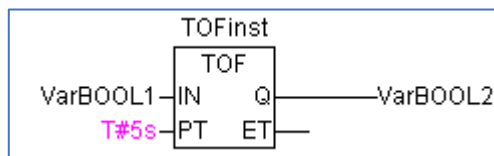


Рисунок 32 – Внешний вид таймера TOF

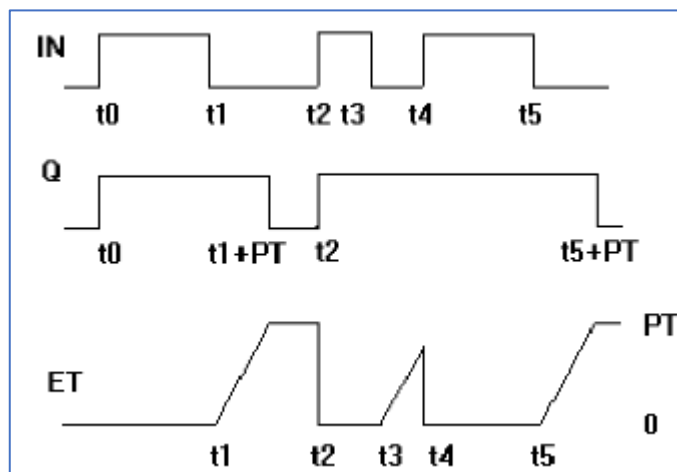


Рисунок 33 – Диаграмма работы таймера TOF

В процессе работы стенда происходит отслеживания показаний с датчиков, таких как “Температура ОЖ”, “Частота вращения” и “Ток нагрузочного устройства”. Данные датчики не дают стенду сломаться или же вызвать несчастные случаи. Датчик “Температура ОЖ” отвечает за температуру двигателя внутреннего сгорания, которая не должна превышать значения в 40. Датчик “Ток нагрузочного устройства”, необходим для защиты электродвигателя от переизбыточной нагрузки, т.к. возрастание показаний данного датчика, указывает на то, что двигатель начинает клинить и в случае превышения заданного значения в 20А, стенд будет остановлен и сработает Аварийная световая и звуковая сигнализация.

В результат создания данного алгоритма были созданы макросы.

Макрос для конвертации частоты оборотов в ГЦ представлен на рисунке 34, а логика представленно на рисунке 35. В данном макросе происходит вычисление частоты вращения электродвигателя, в зависимости от указанных оборотов



Рисунок 34 – Макрос конвертации частоты оборотов

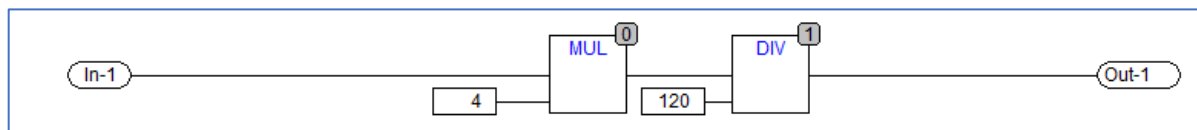


Рисунок 35 – Логика макроса конвертации

В данной логике используются константы значений 4 и 120, а также MUL это операция умножения и DIV операция деления. Значение 4 является показателем, что на стенде используется 4-полюсный электродвигатель, значение 120 является мощностью и измеряется в кВт.

Также был создан макрос для отслеживания появления давления масла при запуске стенда представлен на рисунке 36, логика самого макроса представлена на рисунке 37. Данный макрос выполняет действия по отслеживанию давления, если при запуске электродвигатель в ДВС не появилось давление, то сработает аварийная остановка, для предотвращения заклинивания установки.

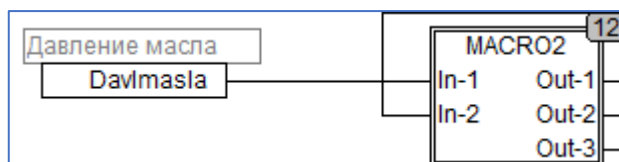


Рисунок 36 – Макрос для запуска стенда

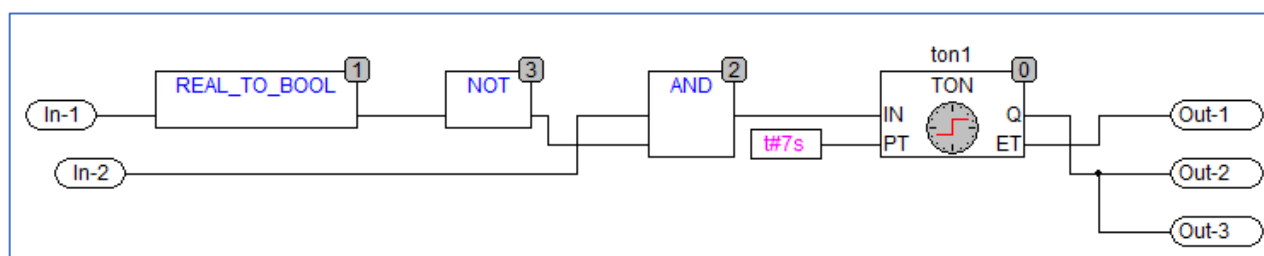


Рисунок 37 – Логика данного макроса

В логике представленной на рисунке 36 используется преобразование входных данных, для этого был использован блок REAL_TO_BOOL преобразование из вещественного типа в булевский тип данных. А также было использовано логическое отрицание NOT для изменения значение с 1 на 0 или же с 0 на 1. В логический блок AND приходит 2 сигнала. Первый сигнал это сигнал с датчика давления масла, а второй сигнал приходит с кнопки запуска самого станда в результате чего сигнал проходит через этот логический блок. Далее запускается таймер на 7 секунд, если за это время давление масла не поднимется и сигнал с датчика не изменит своих показания то в результате этого произойдет аварийная остановка станда и включится аварийная звуковая и световая сигнализация.

Итоговый вид управляющей программы представлен на рисунке 38.

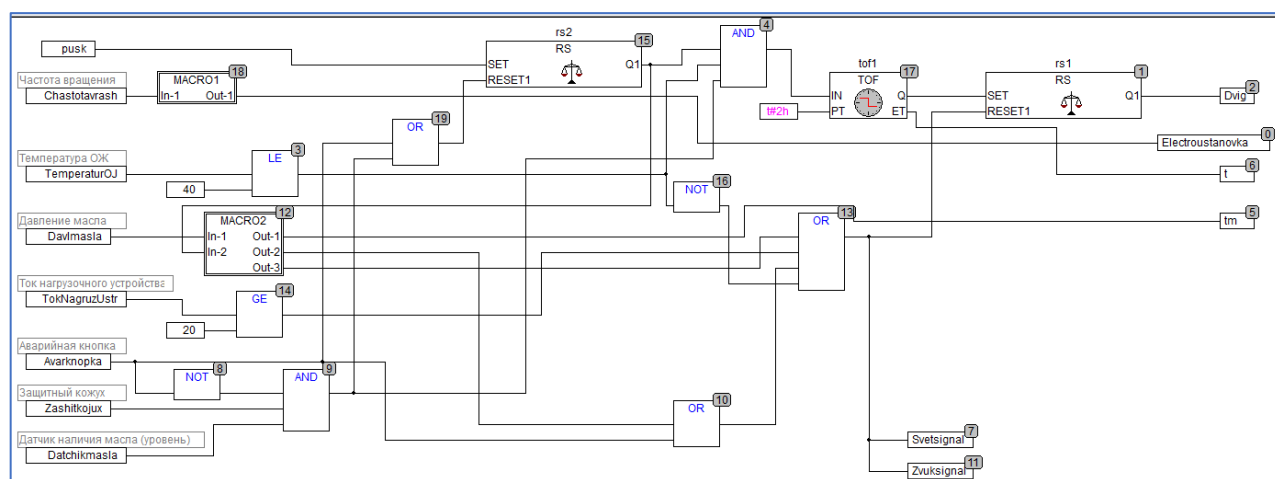


Рисунок 38 – Итоговый вид управляющей программы

Завершённую управляющую программу требуется передать в память контроллера. Для этого прибор соединяется с персональным компьютером через кабель RS-232 с использованием соответствующего адаптера.

1.2.3 Конфигурирование панели оператора

На основе функциональных возможностей, реализованных в управляющей программе, были построены UML-диаграммы двух типов: диаграммы деятельности и диаграммы вариантов использования. Данные графические модели отображают типовые сценарии взаимодействия оператора с разрабатываемой системой.

Проект создан для наличия панели оператора пользователя, в рамках предоставленного лабораторного стенда в наличии имеется одна панель оператора.

На рисунке 39 представлена UML-диаграмма деятельности, описывающая взаимодействие, пользователя, соответствующей панели оператора и ПЛК

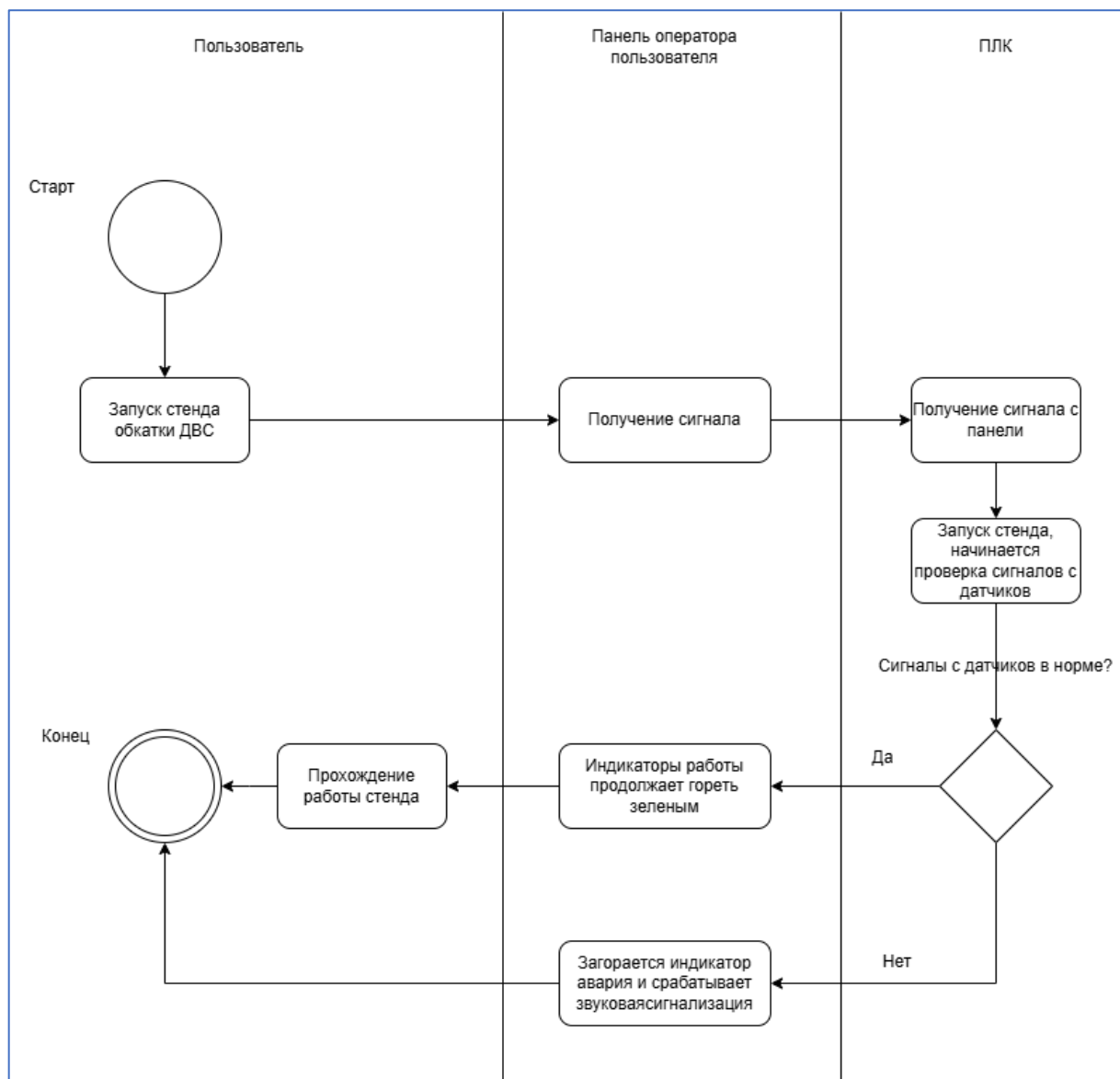


Рисунок 39 – UML-диаграмма деятельности для пользователя

На рисунке 40 можно увидеть UML-диаграмму сценария использования, описывающая шаблон использования системы. Так пользователю доступен запуск изменение количества оборотов.

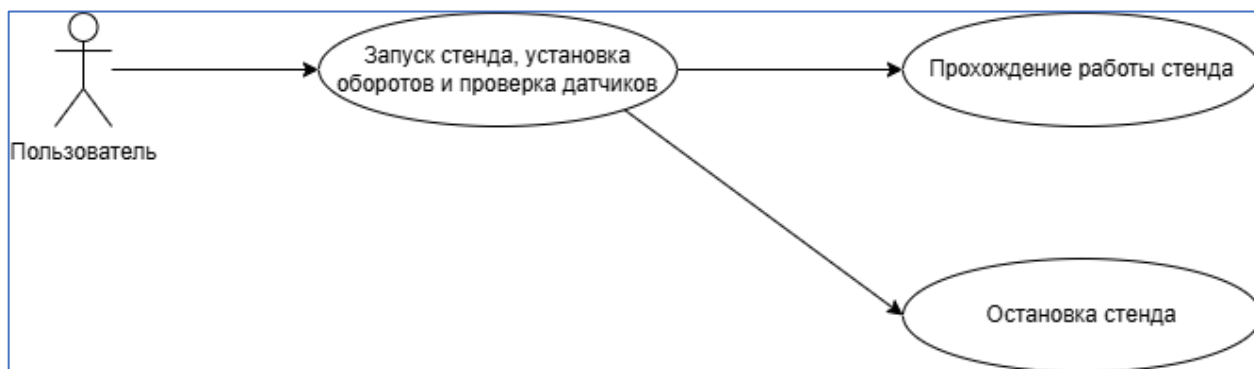


Рисунок 40 – UML-диаграмма сценариев использования для пользователя

Проанализировав возможные сценарии использования панели, а также алгоритм взаимодействия между оператором и системой, приступили к конфигурированию интерфейса панели оператора.

В среде CodeSys во вкладке «Визуализация» был сформирован новый проект. При его создании требуется задать имя окна (рисунок 41).

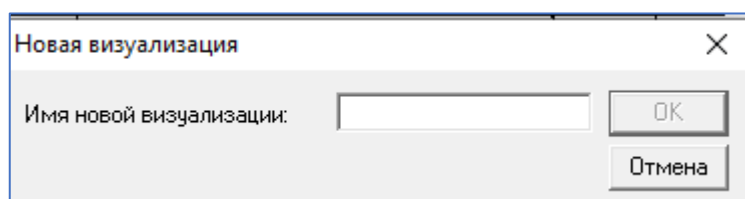


Рисунок 41 – Создание окна панели

После создания открывается само окно визуализации, как показано на рисунок 42.

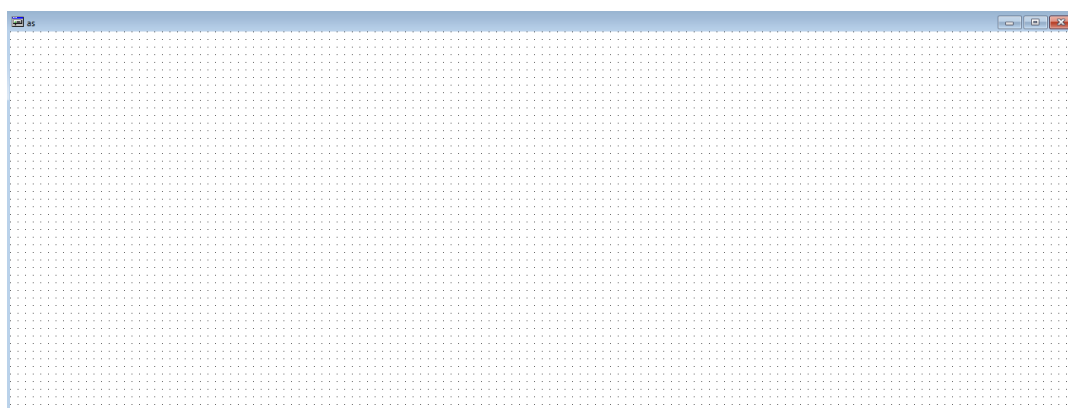


Рисунок 42 – Окно визуализации

После чего можно переносить объект из меню, для создания необходимых объектов и индикаций, а также можно установить приборы измерения стрелочные, шкалы, присутствуют графики отслеживания с настройкой под определенные параметры. Данное меню показано на рисунке 43.



Рисунок 43 – Меню объектов

Ниже приведена таблица 4, содержащая соотношение переменных ПЛК с типами элементов интерфейса панели оператора.

Таблица 4 – соотношение переменных ПЛК и элементов интерфейса

Имя переменной	Тип элемента интерфейса
pusk	Кнопка управления битом
Avarknopka	Кнопка управления битом
Zashitkojux	Кнопка управления битом
Datchikmasla	Кнопка управления битом
TokNagruzUstr	Цифровой дисплей
TemperaturOJ	Цифровой дисплей
Davlmasla	Цифровой дисплей
Chastotavrash	Цифровой дисплей
Svetsignal	Лампа

Для управление сигналом был использован элемент “Прямоугольник”. В настройке которого были указаны параметры взаимодействия данного объекта с пользователем. Что продемонстрировано на рисунках 44 и 50.

Для кнопки “Пуск” в конфигурирование элемента в пункте “Переменные”, в поле “Изм. Цвета:” была указана переменная “.pusk”. Далее необходимо обеспечить взаимодействие кнопки с пользователем. Для этого переходим в пункт

“Ввод” и в окне ставим галочку напротив надписи “Переменная кнопка” и также указываем ту же переменную.

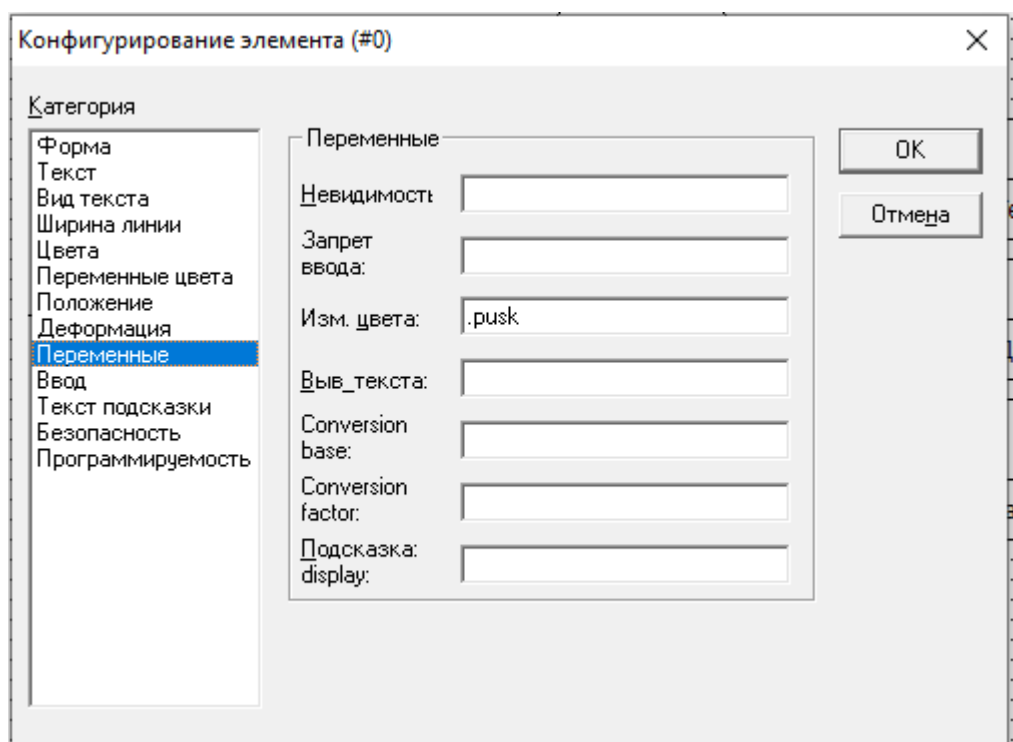


Рисунок 44 – Окно пункта “Переменные”

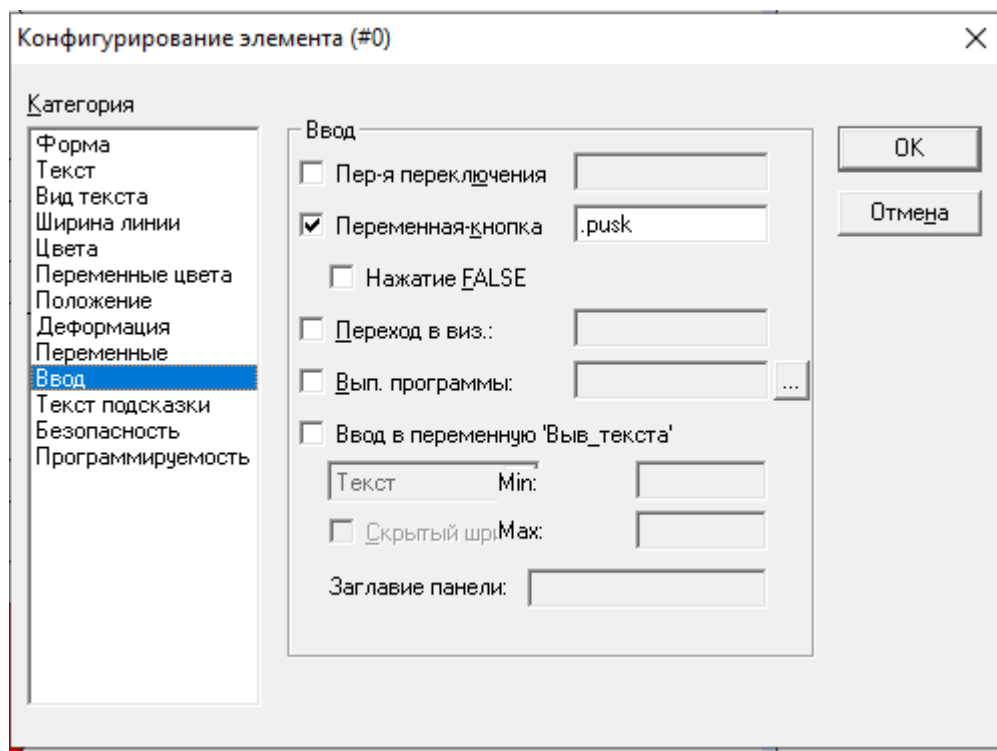


Рисунок 45 – Окно пункта “Ввод”

В разделах «Текст» и «Цвета» были настроены надпись и внешнее оформление элемента, а также скорректировано его положение на экране (рисунки 46 и 47).

Те же самые операции были последовательно выполнены для всех остальных кнопок управления. Итоговый вид фрагмента интерфейса панели оператора, содержащего все кнопочные объекты, показан на рисунке 48.

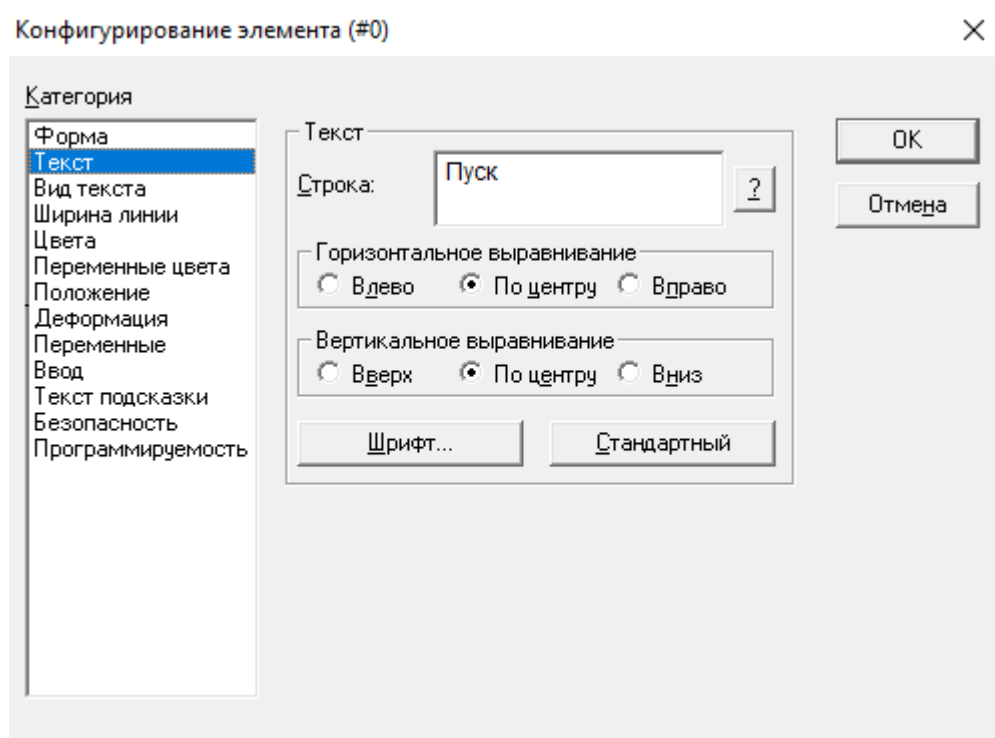


Рисунок 46 – Свойства пункта “Текст”

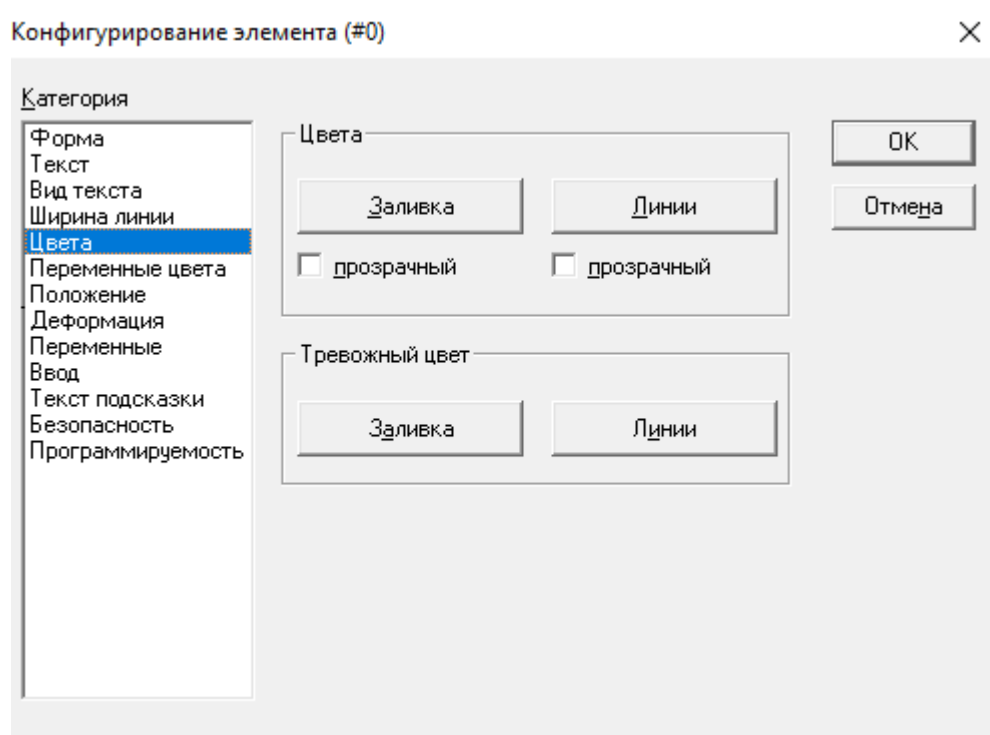


Рисунок 47 – Свойства Цвета



Рисунок 48 – Итоговый результат кнопок

Для индикации работы, аварий и других датчиков был добавлен элемент “Круг”, показанный на рисунке 49.

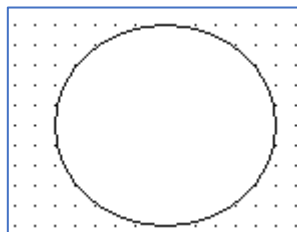


Рисунок 49 – Элемент индикации “Круг”

Во вкладке “Конфигурирование элемента”, в разделе “Переменные”, в пункте “Изм. Цвета:” была указана переменная “.Dvig”, как показано на рисунке 50, а также изменены параметры цвета в пункте “Цвета”, для отображения индикации, как показано на рисунке 51.

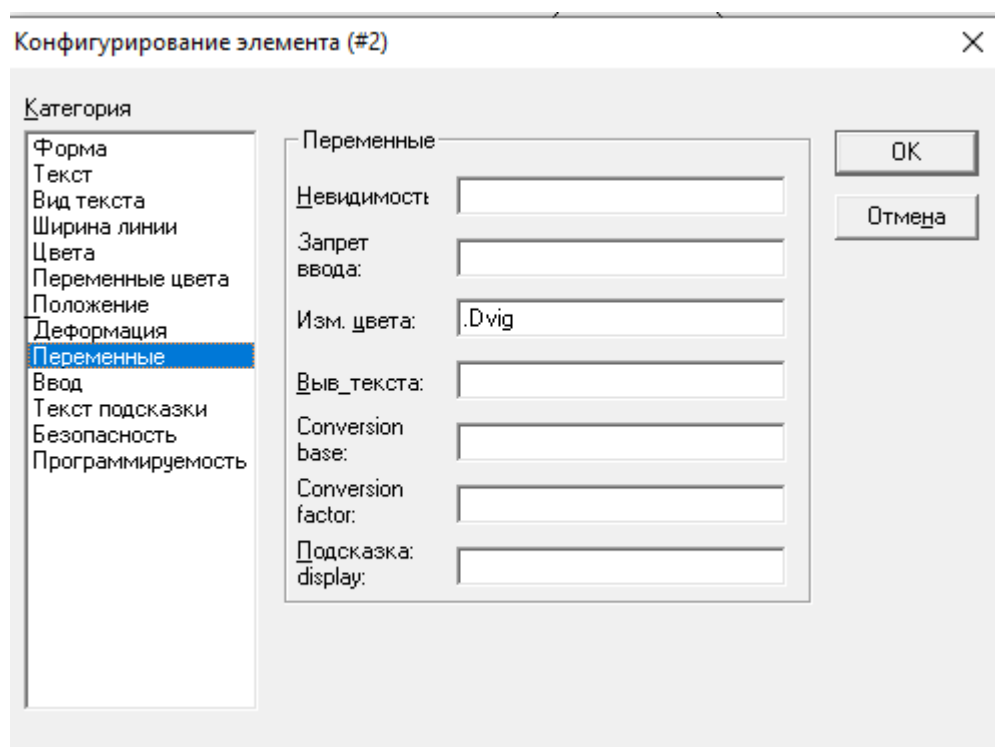


Рисунок 50 – Конфигурирование элемента во вкладке “Переменные”

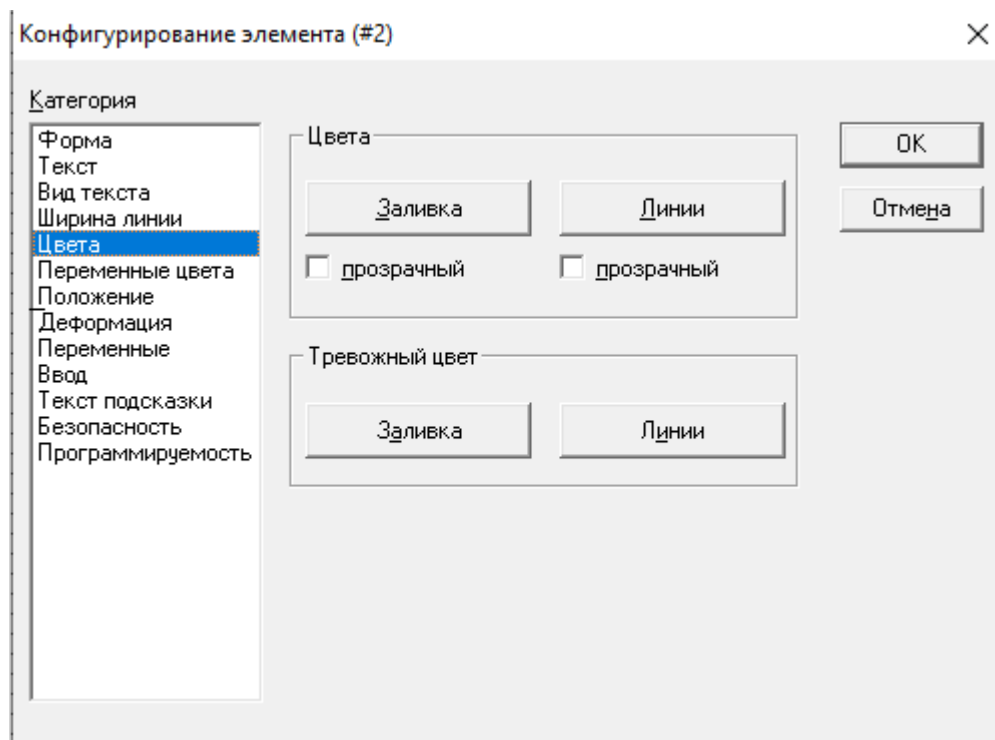


Рисунок 51 – Конфигурирование элемента во вкладке “Цвета”

Аналогично был добавлен элемент “Круг” для индикации “Давление масла”, “Авария”, “Работа”, что продемонстрировано на рисунке 52.

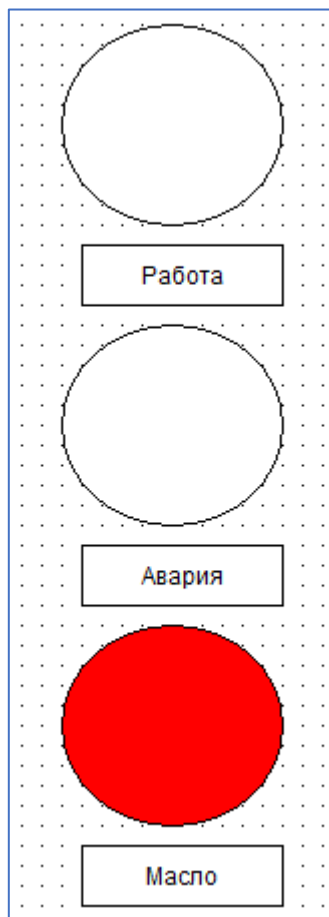


Рисунок 52 – Элементы индикации состояния стенда на экране панели оператора

Далее для отображения данных вносимых в ПЛК были добавлены элементы “Прямоугольник”, что можно увидеть на риунке 53.



Рисунок 53 – Элементы “Прямоугольник”

В свойствах элемента были указаны данные для отображения, привязка переменных к определенным датчикам, для вывода показаний, также был выбран тип данных для отображения “Float”, в качестве примера будет приведено конфигурирование элемента “Температура ОЖ”, как показано на рисунках 54, 55.

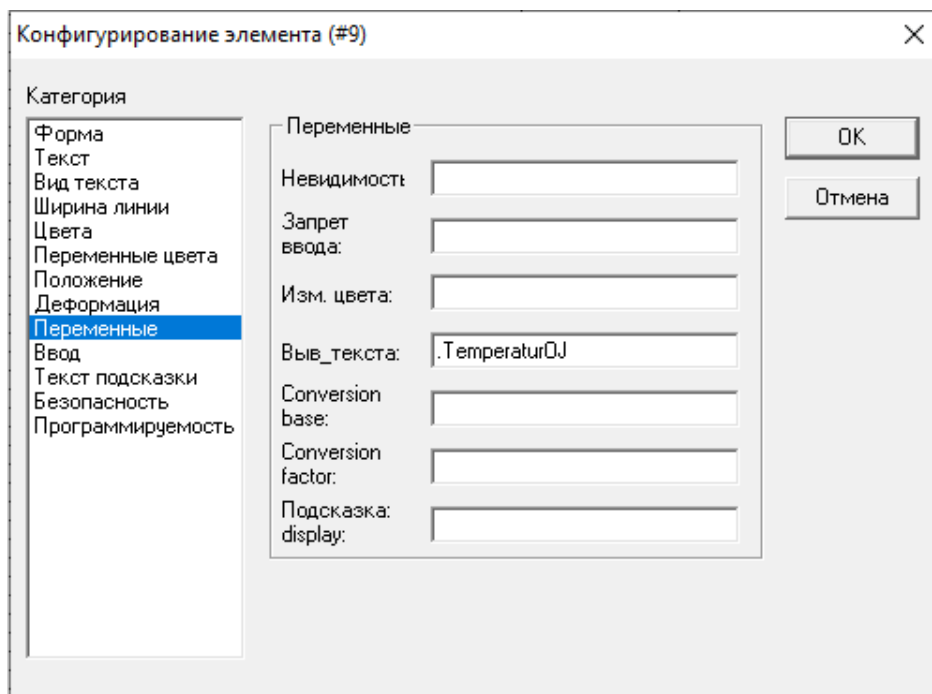


Рисунок 54 – Конфигурирование элемента “Температура ОЖ”, во вкладке “Переменные”

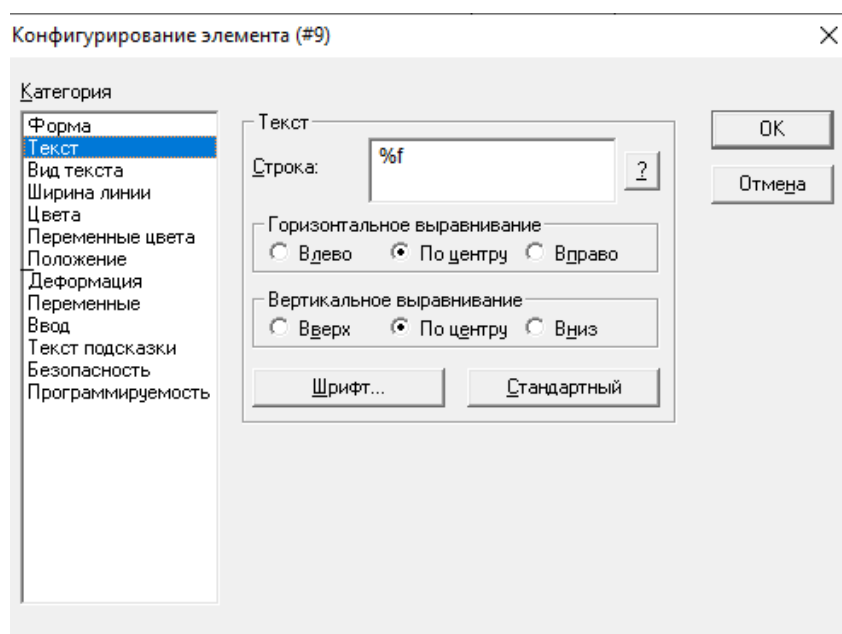


Рисунок 55 – Конфигурирование элемента “Температура ОЖ”, во вкладке “Текст”

По аналогичным действиям были сделаны ещё 2 объекта для отображения данных, а также были подписаны какие данные они отображают. Эти объекты представлены на рисунке 56.



Рисунок 56 – Объекты для отображения “Температура ОЖ”, “Давление масла”, “Частота вращения”

Интерфейс панели оператора был разделен на 2 разных экрана – для запуска и внесения данных в поля, а также экран с отображением показаний работы стенда. Переход между экранами осуществляется с помощью кнопки “Переход на экран 2”, а возвращение обратно происходит по кнопке “Переход на экран 1”. Получившийся результат конфигурирования интерфейса представлен на рисунках 57, 58.

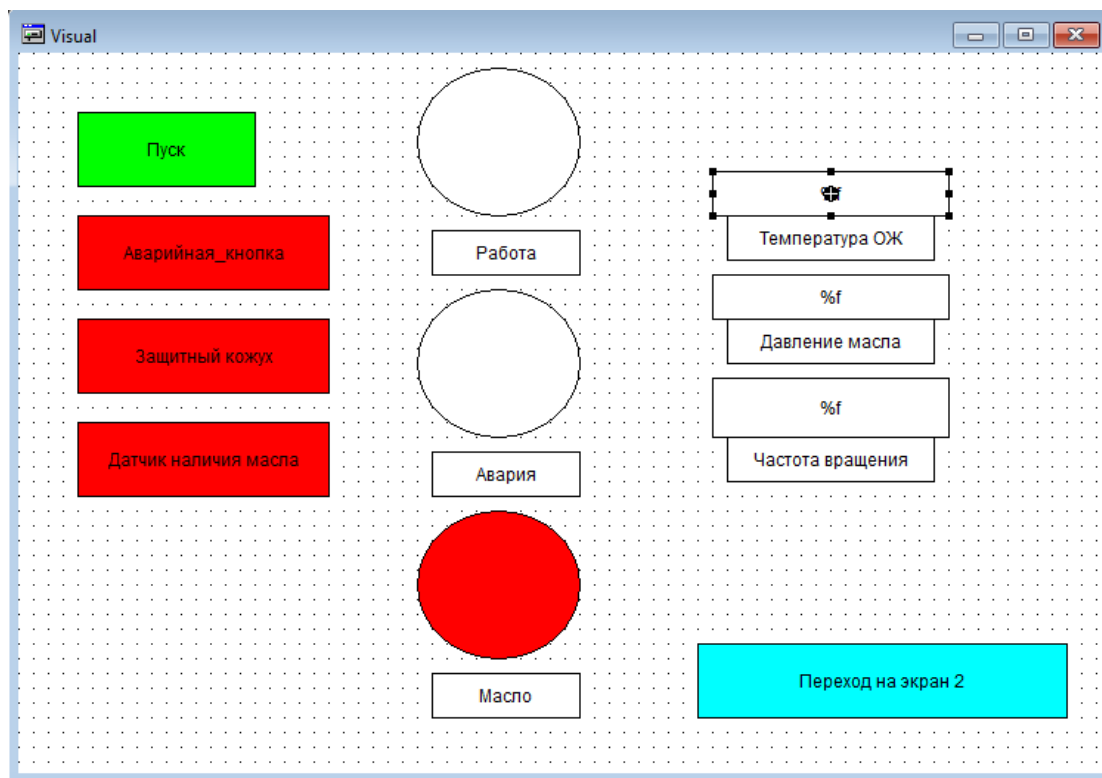


Рисунок 57 – Экран “Панель запуска и ввода данных”

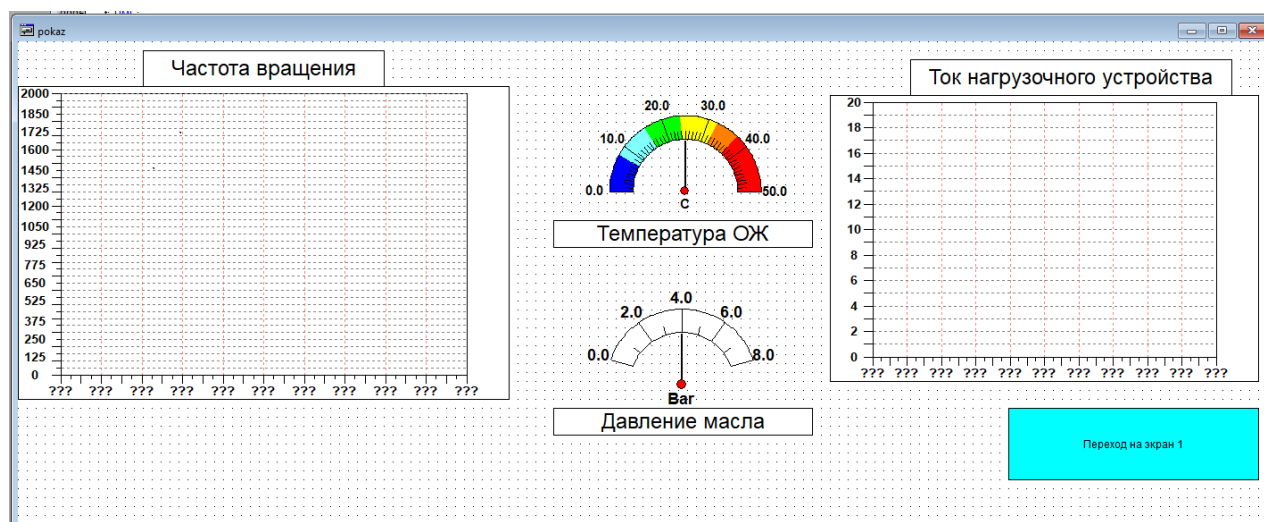


Рисунок 58 – Экран “Панель отображения показателей”

1.3 Анализ результатов

1.3.1 Тестирование и отладка программы в редакторе CodeSys

Чтобы убедиться в правильности функционирования разработанной управляющей программы в соответствии с техническим заданием, было выполнено

тестирование с использованием режима эмуляции среды CodeSys. Полученные результаты отображены на рисунках 59–62.

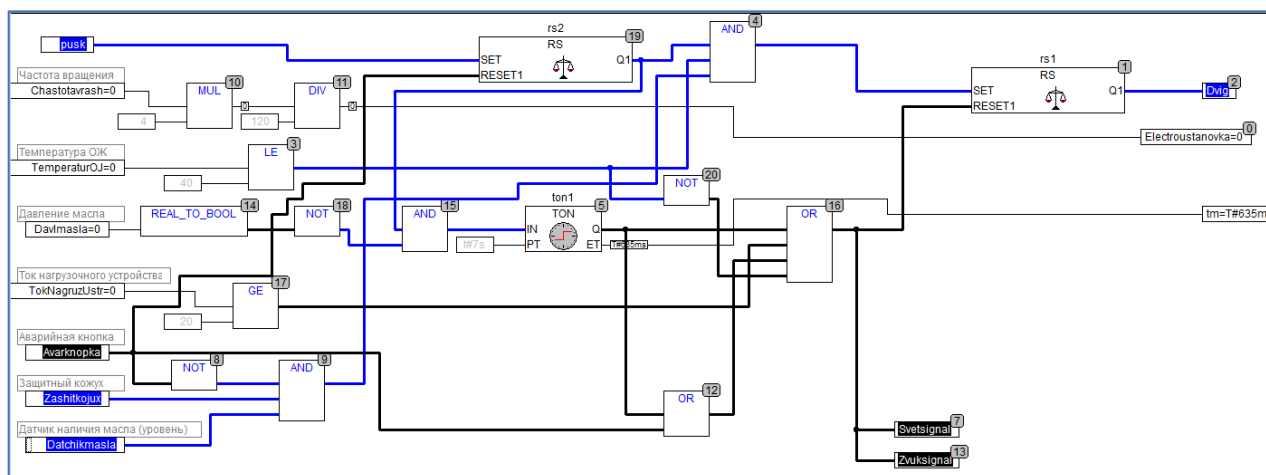


Рисунок 59 – Проект в режиме симуляции с поданным на вход сигналом

На рисунке 60 можно увидеть, что на вход переменной “push”, подсоединенный к “RS-триггеру” подана логическая единица для запуска стенда. В это же время запускается таймер с датчика “Давление масла”, который по завершению подаст сигнал и произведет остановку стенов в случае отсутствия давления в системе. Также стенд не запустится, если сигнал от датчика “Наличия масла (уровень)” и “Защитный кожух” не поступят, то стнед не будет запущен. Далее на рисунке 60 был подан сигнал с датчика “Давление масла”, в результате чего стенд будет работать.

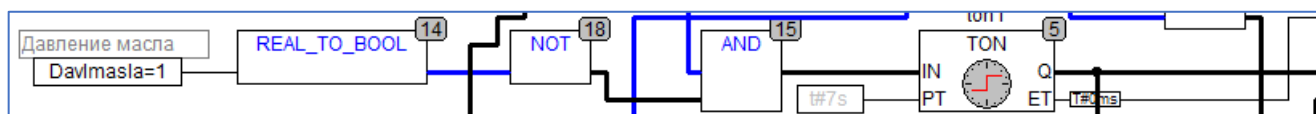


Рисунок 60 – Подача сигнала с датчика “Давление масла”

В результате чего таймер сбрасывается и стенд продолжает работу.

В случае, если после запуска стенда сигнал с датчика не пришел, то происходит остановка стенда и происходит срабатывание аварийной звуковой и световой сигнализации, как показано на рисунке 61.

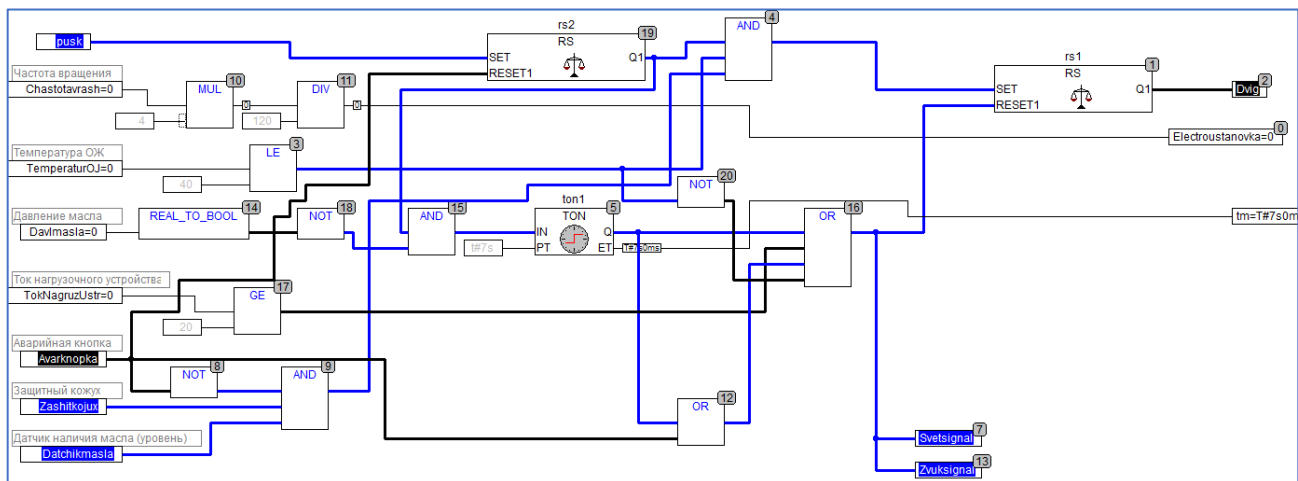


Рисунок 61 – Отсутствие сигнала с датчика “Давление масла”

Аналогичное срабатывание защиты, также относится и к датчика “Ток нагрузочного устройства”, “Температура ОЖ” и “Аварийная кнопка”.

Результаты тестирования показали корректность работы управляющей программы.

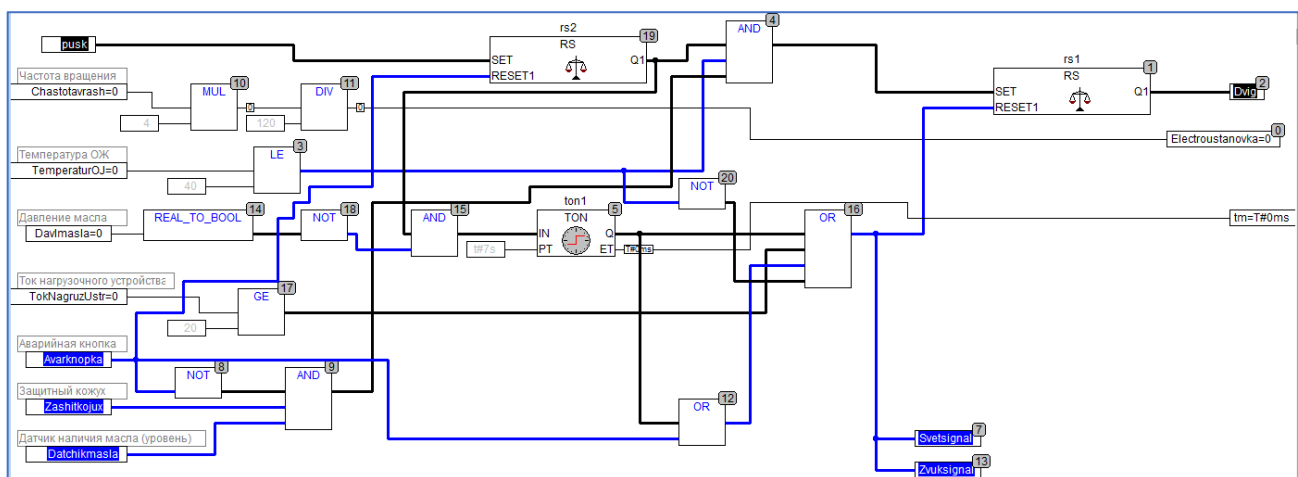


Рисунок 62 – Остановка станда

1.3.2 Тестирование и отладка интерфейса панели оператора

По завершении настройки интерфейса панели оператора была выполнена проверка: оценивались корректность его функционирования, правильность связей между элементами проекта и рациональность их расположения на экране. Для этого проект был запущен в режиме симуляции, а результат показан на рисунках 63 и 64.

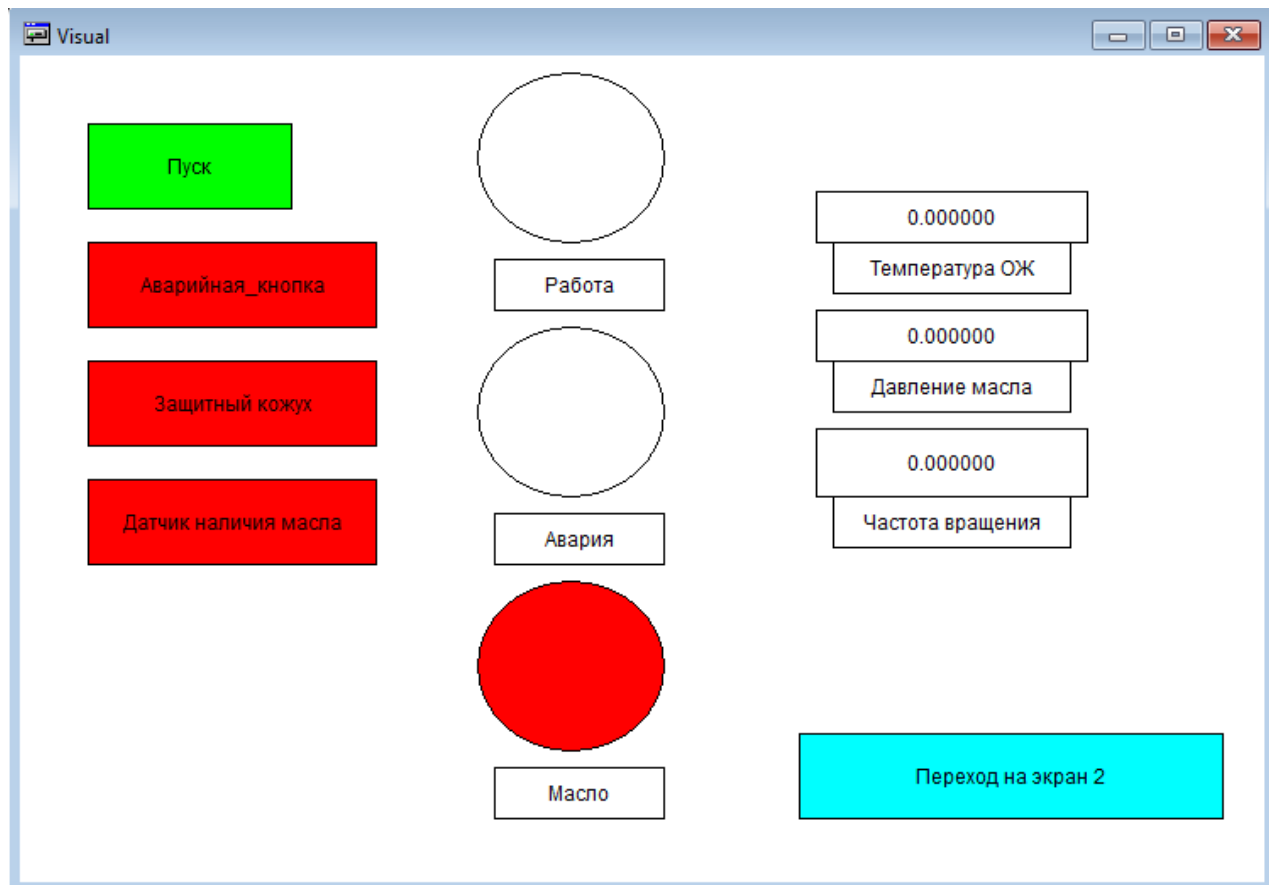


Рисунок 63 – Экран “Visual” в режиме эмуляции панели оператора

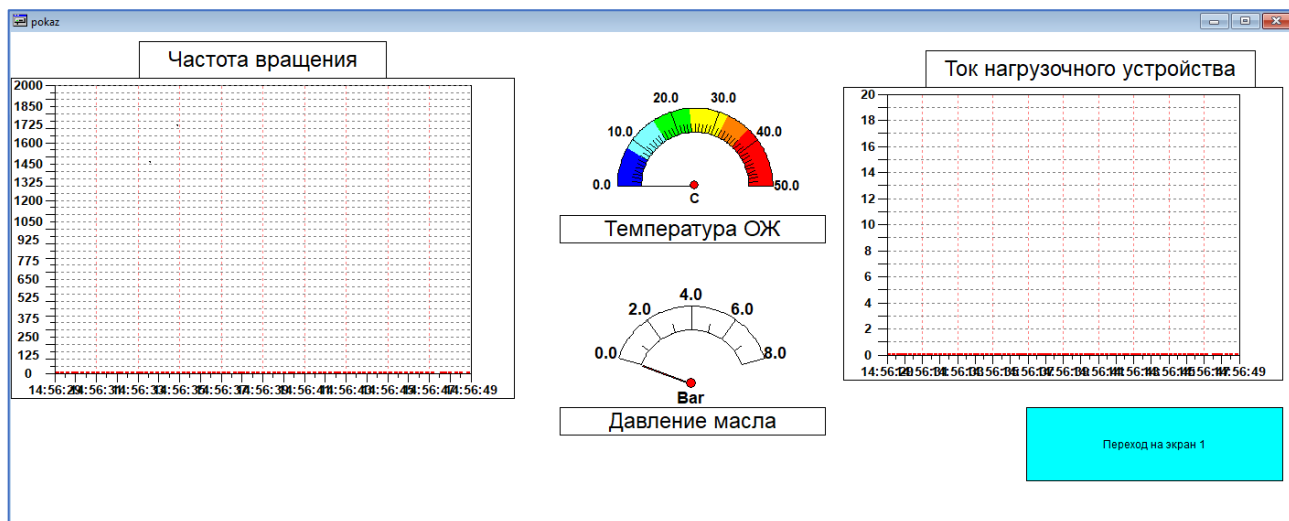


Рисунок 64 – Экран “pokaz” в режиме эмуляции панели оператора

1.3.3 Тестирование проекта на стенде целевой платформы

В процессе отладки проекта выполнялось тестирование на лабораторном стенде, соответствующем целевой платформе. Рисунок 65 демонстрирует

подключённые панель оператора и ПЛК, в которые предварительно были загружены управляющая программа и настроенный интерфейс панели.

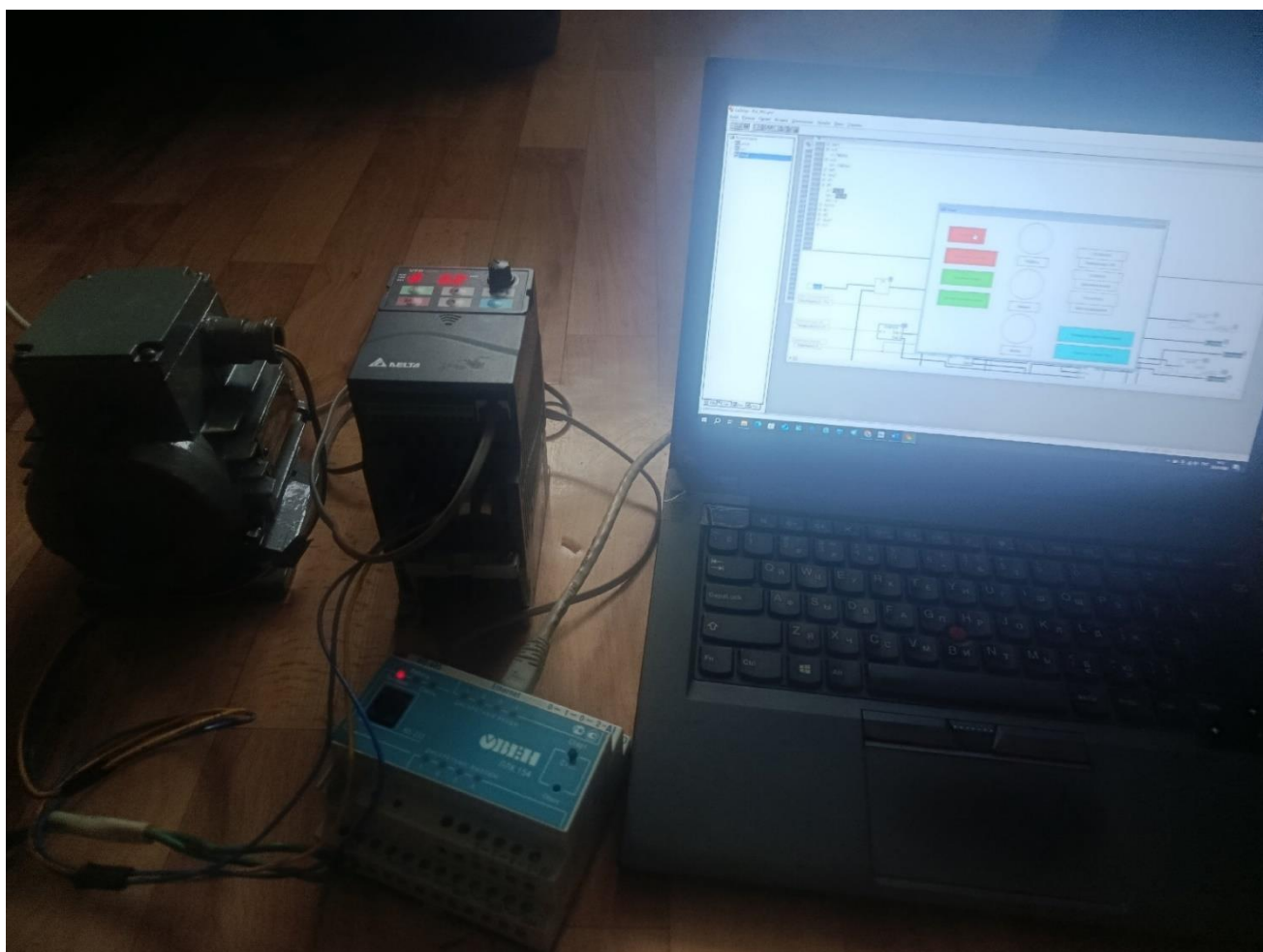


Рисунок 65 – Лабораторный стенд для целевой платформы

По умолчанию стенд находится в режиме ожидания, что можно увидеть на рисунке 66 благодаря отображению индикации.

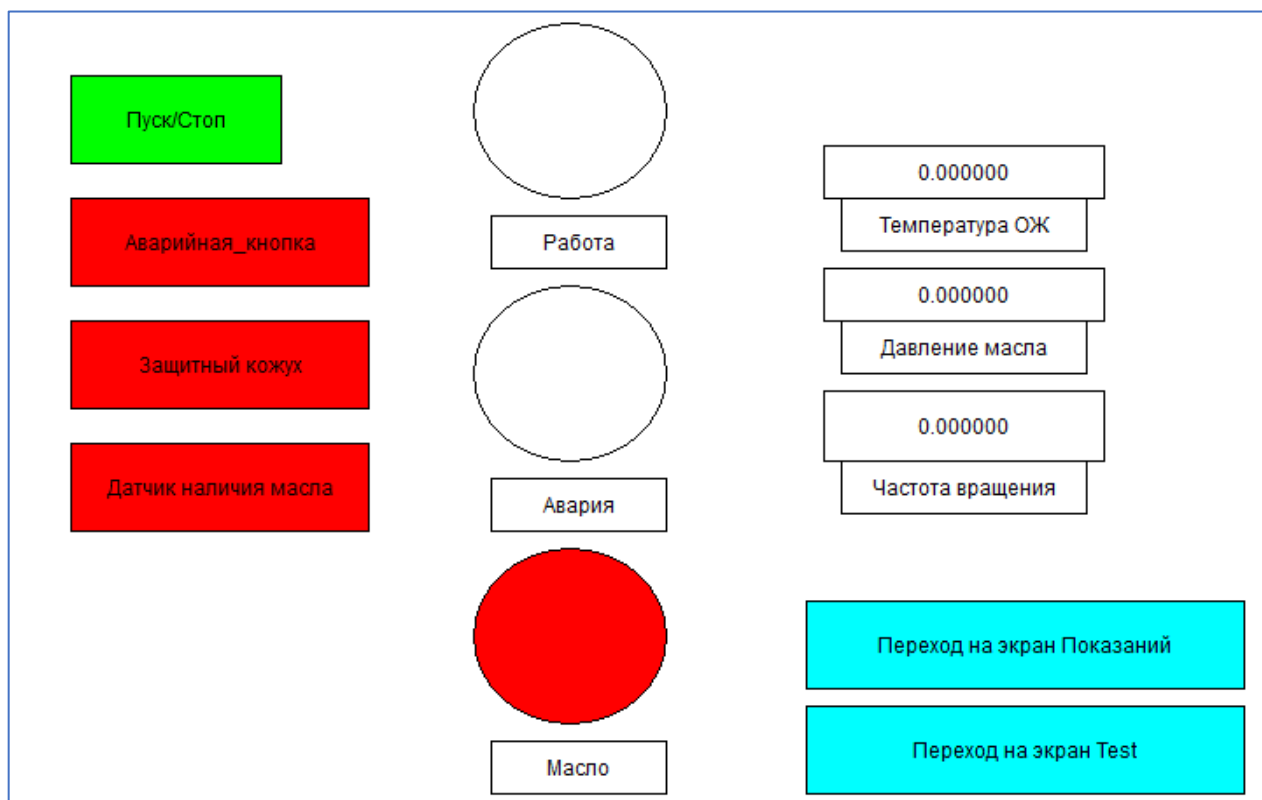


Рисунок 66 – Индикация состояния ожидания

Для запуска стенда требуется наличие сигналов от датчиков «Защитный кожух» и «Датчик уровня масла», а также последующее появление давления в масляной системе. Данное условие проиллюстрировано на рисунке 66.

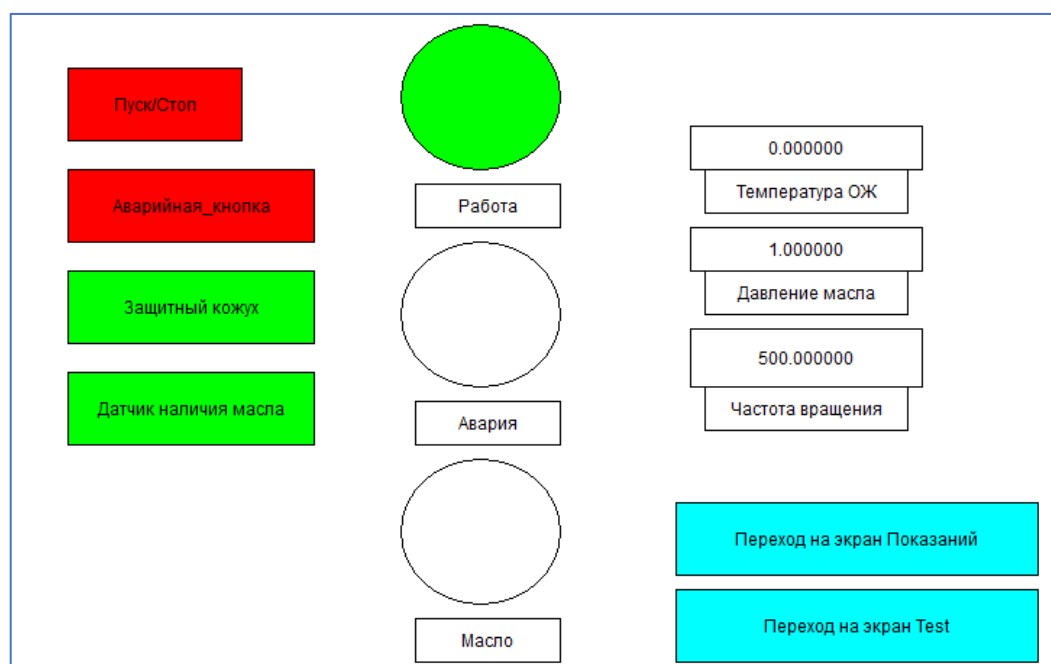


Рисунок 67 – Начало работы стенда

На другом экране есть отображение показаний с датчиков, которые представлены на рисунке 68.

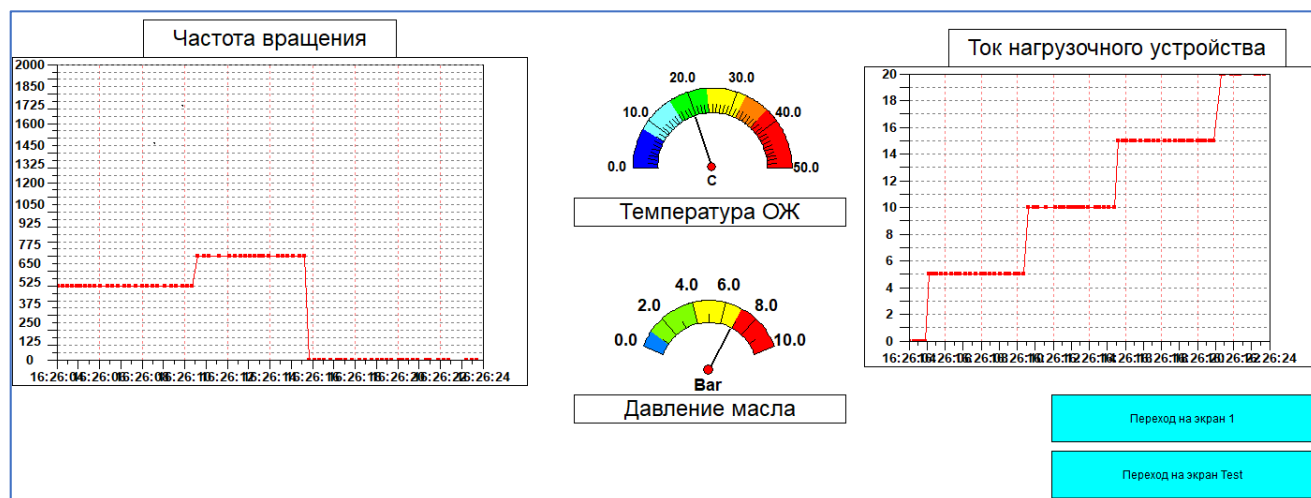


Рисунок 68 – Экран с показаниями датчиков

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ

Лист

58

2 Охрана труда

Настоящий раздел посвящён требованиям к безопасности жизнедеятельности и охране труда специалистов, работающих с ПЭВМ в процессе создания программного обеспечения, а также при монтаже и эксплуатации ПЛК и панелей оператора. Кроме того, здесь рассмотрены методы снижения вредного воздействия на организм.

2.1 Анализ негативных факторов, воздействующих на оператора ПЭВМ и способы их устранения

Сидячий образ жизни и напряженная работа за компьютером негативно влияют на здоровье человека. Ограниченная подвижность, статическое напряжение мышц и перегрузка зрения приводят к снижению работоспособности, усталости, раздражительности, физическим недомоганиям.

Чтобы минимизировать вредное влияние компьютера, необходимо следовать следующим правилам:

- отрегулируйте высоту кресла или выберите стул, чтобы при сидении спина была ровной, а предплечья лежали на столе;
- экран должен находиться на уровне глаз, на расстоянии вытянутой руки;
- избегайте бликов и теней, используйте настольную лампу при необходимости;
- каждые 45-60 минут вставайте из-за стола, разминайтесь, делайте разминку для глаз;
- старайтесь не проводить за компьютером более 6-8 часов в день;
- держите спину ровной, не сутультесь;
- не игнорируйте правила электробезопасности – используйте заземленные розетки, не перегружайте сеть;
- соблюдайте правила пожарной безопасности, держите на рабочем месте огнетушитель, не оставляйте без присмотра включенные электроприборы.

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.1.1 Оборудование рабочего места

Ниже представлены основные требования, которым должно удовлетворять рабочее место:

- расстояние от глаз до экрана должно быть в пределах 600 – 700 мм;
- монитор должен располагаться ниже уровня глаз. Угол между направлением при взгляде прямо и направлением на центр экрана должен составлять 10-15 градусов;
- рабочий стол должен регулироваться по высоте в пределах 680 – 800 мм, при отсутствии такой возможности его высота должна составлять 725мм;
- клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края, обращенного к пользователю, или на специальной регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы;
- рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм [6].

На рисунке 66 изображена организация рабочего места, которая отвечает указанным требованиям.

Рабочее место с дисплеем должно быть эргомичным, то есть максимально удобным и не наносящим вреда здоровью.

При правильно организованном рабочем месте должна обеспечиваться правильная посадка пользователя ПЭВМ, изображенная на рисунке 67.

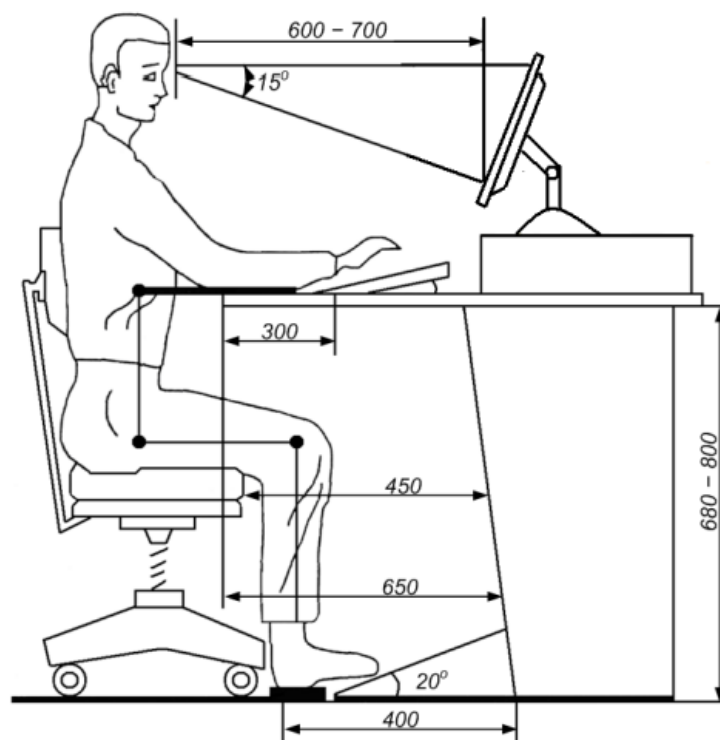


Рисунок 66 – Организация рабочего места



Рисунок 67 – Правильная посадка за ПК

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ

Лист

61

Посадка должна обеспечить выполнение
следующих условий:

- запястье должны находиться в прямом положении;
- плечи находятся в расслабленном состоянии;
- локти должны полностью

лежать на столе, не свисая и располагаться перпендикулярно полу (угол в локтевых суставах должен составлять 90-100 градусов).

2.1.2 Освещенность рабочего места

Нормы освещенности устанавливаются с учетом характера выполняемой работы, места и поверхности. Для пультов ЭВМ и дисплеев – комбинированное освещение не менее 400 люкс, а общее освещение не менее 200 люкс [6].

На рабочем месте необходимо обеспечивать большую равномерность яркости, исключая наличие ярких и блестящих предметов, для снижения монотонности в поле зрения рекомендуется отдельные пестрые поверхности.

Для освещения используются в основном потолочные или встроенные светильники с люминисцентными лампами. Для исключения засвечивания экранов прямыми световыми потоками светильники общего освещения располагают сбоку от рабочего места, параллельно линии зрения оператора [6].

2.1.3 Электробезопасность

К электробезопасности предъявляются требования по ГОСТ 12.1.019-2017 «ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ».

ПЭВМ – это комплекс устройств, работающий от сети переменного тока частотой 50 Гц с напряжением 230 В. Электрический ток при таком напряжении опасен для жизни. Поэтому при работе на ПЭВМ необходимо соблюдать следующие требования электробезопасности:

- все устройства должны питаться от одной фазы электрической сети;
- сетевое электропитание устройств ПЭВМ должно производиться только от розеток типа «Европа» с заземляющими контактами;
- все электрические розетки, предназначенные для подключения к ним устройств ПК, должны иметь маркировку по напряжению;

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– значение номинального напряжения сети необходимо наносить яркой краской, крупными символами (высотой не менее 50 мм) на стене или щите, возле розетки.

Каждый работник, использующий ПЭВМ и периферийное оборудование, должен строго соблюдать правила электробезопасности.

Несоблюдение этих правил может привести к серьезным угрозам для здоровья и жизни.

Необходимо постоянно следить за исправным состоянием электропроводки, выключателей, штепсельных розеток, используемых для подключения оборудования к сети.

При обнаружении любой неисправности необходимо немедленно обесточить электрооборудование и сообщить о проблеме ответственному лицу. Продолжение работы возможно только после устранения всех неисправностей квалифицированным специалистом.

2.1.4 Пожарная безопасность

При эксплуатации электроустановок и ПЭВМ наиболее частыми причинами пожаров, возникающих при использовании электроустановок, являются:

- короткие замыкания в проводках и электрических устройствах;
- воспламенение горючих материалов вблизи от электрических устройств;
- большие переходные сопротивления в местах контактных соединений.

Пожарные меры профилактики проводятся согласно федеральному закону от 21.12.1994 №69-ФЗ (ред. от 28.09.2010) «О пожарной безопасности». Для пожарной безопасности требуется выполнить ряд организационных мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей и предотвращение пожара с ограничением его распространения. А также создать условия для успешного тушения пожаров. Для повышения противопожарной безопасности помещения необходимы следующие мероприятия:

- проходы в помещения и запасные выходы не должны быть загромождены посторонними предметами, которые препятствуют свободному проходу;
- к средствам пожаротушения всегда должен быть свободный доступ;

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– система вентиляции должна быть оборудована устройством, обеспечивающим автоматическое отключение ее при пожаре, а также огне задерживающим клапаном;

– установленная автоматическая пожарная сигнализация и средства пожаротушения должны содержаться в исправном состоянии и в соответствии с типовыми правилами технического содержания установок пожарной автоматики.

2.1.5 Режим труда и отдыха

Работник, использующий ПЭВМ, должен строго соблюдать режим труда и отдыха. Продолжительность и частота перерывов регламентируются в зависимости от вида, категории и продолжительности трудовой деятельности. Соблюдение режима труда и отдыха позволяет снизить утомляемость, повысить работоспособность, сохранить здоровье. Не игнорируйте перерывы, вставайте из-за рабочего места, делайте упражнения, разминайтесь.

Существуют следующие виды трудовой деятельности, связанные с персональным компьютером:

- группа А – работа по считыванию информации с экрана видео дисплейного терминала с предварительным запросом;
- группа Б – работа по вводу информации;
- группа В – творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ.

При выполнении работ, связанных с использованием компьютеров в рамках различных видов трудовой деятельности, за основную работу с компьютером следует считать вид деятельности, который занимает не менее 50% времени в течение всей рабочей смены или рабочего дня.

Для видов трудовой деятельности устанавливается 3 категории тяжести и напряженности работы с компьютером, которые определяются следующим образом:

- для группы А – по суммарному числу считываемых знаков за рабочую смену (не более 60000 знаков за смену);
- для группы Б – по суммарному числу считываемых или вводимых знаков за рабочую смену (не более 40000 знаков за смену);

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– для группы В – по суммарному времени непосредственной работы с компьютером за рабочую смену (не более 6 часов за смену). Суммарное время перерывов для каждой категории и видов работы указаны в таблице 5.

Таблица 5– Время перерывов

Категория работы с ПЭВМ или ВДТ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работы с ВДТ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин	
	группа А, количество заказов	группа Б, количество заказов	группа В час	при 8- часовой смене	при 12- часовой смене
1	До 20000	До 15000	До 2	50	80
2	До 40000	До 30000	До 4	70	110
3	До 60000	До 40000	До 6	90	140

2.2 Меры безопасности при работе с ПЛК 154 и панелью оператора

В соответствии с ГОСТ ИЕС 61131-2-2012, по типу защиты персонала от поражения электричеством данное устройство относится ко II классу [4].

Во время эксплуатации, технического обслуживания и поверки прибора следует соблюдать требования ГОСТ 12.3.019–80, «Правил эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правил охраны труда при эксплуатации электроустановок» [5].

В процессе эксплуатации устройства на открытых контактах клеммной колодки присутствует напряжение, представляющее угрозу для жизни человека. Поэтому размещать прибор необходимо в специальных шкафах, к которым имеют доступ исключительно квалифицированные сотрудники [5].

Любые подключения к прибору и работы по его техническому обслуживанию следует производить только при отключенном питании прибора и подключенных к нему устройств [5].

Запрещается воздействие влаги на контакты выходного разъёма и внутренние электронные компоненты устройства. Также не допускается эксплуатация прибора в агрессивной атмосфере, содержащей пары кислот, щелочей, масел и подобных веществ [5].

Панель оператора функционирует при постоянных напряжениях, неопасных для человека (до 26 В). Согласно ГОСТ 12.2.007.0, по степени защиты от поражения электрическим током она относится к III классу, что означает отсутствие необходимости в специальной защите персонала от прикосновения к токоведущим частям [4].

Любые работы по подключению и техническому обслуживанию панели необходимо производить только при отключенном питании и отсутствии напряжения в линиях связи [4].

При проверке панели необходимо соблюдать требования ГОСТ 12.3.019, «Правил эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» [4].

2.3 Психофизиологические нагрузки и профилактика утомления

Работа разработчика связана с длительным пребыванием за компьютером, высокой концентрацией внимания и выполнением однотипных действий, что приводит к значительным психофизиологическим нагрузкам. Основными факторами, влияющими на состояние организма, являются статическое напряжение мышц, зрительное утомление, монотонность работы и эмоциональное напряжение, возникающее при решении сложных технических задач или работе в условиях ограниченных сроков.

Длительное сидение в одной позе вызывает перенапряжение мышц спины, шеи и плечевого пояса, что может приводить к болевым ощущениям и снижению

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

работоспособности. Высокая нагрузка на зрительный анализатор возникает из-за постоянного фокусирования взгляда на экране монитора, особенно при работе с мелкими элементами интерфейса или текстом. При недостаточном освещении или неправильном расположении монитора зрительное утомление усиливается, что может проявляться в виде сухости глаз, снижения четкости зрения и головных болей. Монотонность работы и необходимость длительной концентрации внимания нередко приводят к эмоциональному напряжению, снижению мотивации и повышенной утомляемости.

Для снижения психофизиологических нагрузок важна правильная организация режима труда и отдыха. Рекомендуется делать короткие перерывы каждые 45–60 минут, во время которых можно выполнить лёгкие упражнения для разминки мышц и переключить внимание на объекты, расположенные вдали, чтобы снизить нагрузку на глаза. Полезно использовать технику «20–20–20», предполагающую каждые 20 минут переводить взгляд на объект, находящийся на расстоянии около 20 футов (6 метров), в течение 20 секунд. Такие короткие паузы помогают восстановить зрительное восприятие и снизить напряжение глазных мышц.

3 Экономика

3.1 Цель и задачи экономического обоснования

Целью экономической части дипломной работы является оценка затрат на разработку и внедрение системы управления стендом обкатки двигателей внутреннего сгорания, включая электродвигатель, а также расчет ожидаемой экономической эффективности от ее использования.

Для достижения цели решаются следующие задачи:

- расчет полной себестоимости разработки программного обеспечения и настройки аппаратной части;
- определение капитальных затрат на создание системы (включая электродвигатель);
- оценка текущих эксплуатационных расходов;
- расчет годового экономического эффекта от автоматизации;
- определение срока окупаемости проекта.

3.2 Расчет затрат на разработку системы

Разработка системы включает в себя:

- проектирование логики управления на языке CFC в среде CODESYS V2.3;
- конфигурирование ПЛК-154;
- создание графического интерфейса оператора (HMI);
- настройку взаимодействия ПЛК с частотным преобразователем (задание скорости через аналоговый вход);
- тестирование на лабораторном стенде с подключением электродвигателя через частотный преобразователь;
- подготовку технической документации.

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3.2.1 Трудоемкость разработки

Таблица 6– Трудоемкость разработки

Вид работ	Трудоемкость, чел.- часов
Анализ требований и обзор аналогов	16
Разработка алгоритмов управления (CFC)	40
Конфигурирование ПЛК-154 и настройка I/O	24
Настройка частотного преобразователя и интерфейса с ПЛК	16
Создание экранов визуализации (3 экрана)	32
Тестирование, отладка, симуляция с электродвигателем	32
Документирование (реферат, инструкция)	16
Итого	176 чел.-часов

При 8-часовом рабочем дне это составляет 22 рабочих дней.

3.2.2 Расчет заработной платы разработчика

Должность разработчика: инженер-программист АСУ ТП (средний уровень).

Формула расчёта среднедневной ставки:

$$\text{СрЗп} = \text{МС} / \text{Д}$$

где:

- СрЗп – среднедневная заработанная плата, руб.;
- МС – месячная ставка, руб.;
- Д – количество рабочих дней в месяце (22 дня).

$$\text{СрЗп} = 75000 / 22 = 3\,409 \text{ руб.}$$

Формула расчёта часовой ставки:

$$\text{ЗпЧ} = \text{СрЗп} / \text{Дс}$$

где:

- ЗпЧ – часовая заработная плата, руб.;

– СрЗп – среднедневная заработная плата, руб.;

– Прс – продолжительность смены (8 часов).

Подстановка чисел:

$$\text{ЗпЧ} = 3\,409 / 8 = 426 \text{ руб.}$$

Формула расчёта основной заработной платы:

$$\text{ОснЗп} = T \times \text{ЗпЧ}$$

где:

– ОснЗп – основная заработная плата, руб.;

– T – общая трудоёмкость разработки, чел.-часов;

– ЗпЧ – часовая заработная плата, руб.

Подстановка чисел:

$$\text{ЗПосн} = 176 \times 426 = 74\,976 \text{ руб.}$$

Формула расчёта дополнительной заработной платы:

$$\text{ЗПдоп} = \text{ЗПосн} \times K_{\text{доп}}$$

где:

– ЗПдоп – дополнительная заработная плата (премия), руб.;

– ОснЗп – основная заработная плата, руб.;

– Kдоп – коэффициент дополнительной заработной платы (0,15).

Подстановка чисел:

$$\text{ЗПдоп} = 74\,976 \times 0,15 = 11\,246 \text{ руб.}$$

Формула расчёта страховых взносов:

$$\text{СВ} = (\text{ОснЗп} + \text{ЗПдоп}) \times K_{\text{св}}$$

где:

– СВ – страховые взносы, руб.;

– ЗПосн – основная заработная плата, руб.;

– ЗПдоп – дополнительная заработная плата, руб.;

– Kсв – коэффициент страховых взносов (0,30).

Подстановка чисел:

$$\text{СВ} = (74\,976 + 11\,246) \times 0,30 = 86\,222 \times 0,30 = 25\,867 \text{ руб.}$$

Формула расчёта общих затрат на оплату труда:

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$ЗП_{общ} = ЗП_{осн} + ЗП_{доп} + СВ$$

где:

- ЗП_{общ} – общие затраты на оплату труда разработчика, руб.;
- ЗП_{осн} – основная заработная плата, руб.;
- ЗП_{доп} – дополнительная заработная плата, руб.;
- СВ – страховые взносы, руб.

Подстановка чисел.

$$ЗП_{общ} = 74\,976 + 11\,246 + 25\,867 = 112\,089 \text{ руб.}$$

3.2.3 Стоимость оборудования и комплектующих

Таблица 7– Стоимость оборудования и комплектующих

Оборудование	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
ПЛК ОВЕН ПЛК-154	28 500	1	28 500
Панель оператора(HMI) с поддержкой CODESYS	32 000	1	32 000
Электродвигатель (4-полюсный, 120кВт) для стенда	95 000	1	95 000
Частотный преобразователь (для двигателя 120кВт)	72 000	1	72 000
Датчик частоты вращения (энкодер)	4 200	1	4 200
Датчик температуры ОЖ (термопара)	1 800	1	1 800
Датчик давления масла	2 500	1	2 500
Датчик уровня масла	1 200	1	1 200
Датчик положения защитного кожуха	900	1	900
Аварийная кнопка	450	1	450
Рел, кабели, клеммники (набор)	5 000	1	5 000

Оборудование	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Источник питания 24В	3 500	1	3 500
Итого оборудование			250 550

Формула расчёта общей стоимости оборудования:

$$\text{ОбщС} = \sum (\text{Ц}_i \times \text{К}_i)$$

где:

- ОбщС – общая стоимость оборудования, руб.;
- Ц_і – цена единицы і-го оборудования, руб.;
- К_і – количество единиц і-го оборудования, шт.

Подстановка чисел:

$$\text{ОбщС} = 28\,500 + 32\,000 + 95\,000 + 72\,000 + 14\,400 + 6\,000 + 3\,500 = 251\,400 \text{ руб.}$$

3.2.4 Прочие затраты

Таблица 8 – Прочие затраты

Статья затрат	Сумма, руб.
Электроэнергия на время разработки	3 000
Амортизация ПК и приборов	4 500
Расходные материалы (кабели, маркировка, наконечники)	3 000
Использование ПО CODESYS (бесплатно)	0
Итого прочие затраты	10 500

Формула расчёта прочих затрат:

$$\text{Зпр} = \text{Зэ} + \text{Зрм}$$

где:

- Зпр – прочие затраты, руб.;
- Зэ – затраты на электроэнергию, руб.;
- Зрм – затраты на расходные материалы, руб.

Подстановка чисел:

$$\text{Зпр} = 2\,500 + 2\,000 = 4\,500 \text{ руб.}$$

3.2.5 Полная себестоимость разработки

Таблица 9 – Полная себестоимость разработки

Статья	Сумма, руб.
Оплата труда разработчика	119 708
Оборудование и комплектующие	250 550
Прочие затраты	10 500
Итого (себестоимость)	380 758

Формула расчёта полной себестоимости разработки:

$$\text{Сразр} = \text{ЗПобщ} + \text{Соб} + \text{Зпр}$$

где:

- Сразр – полная себестоимость разработки, руб.;
- ЗПобщ – общие затраты на оплату труда разработчика, руб.;
- Соб – общая стоимость оборудования, руб.;
- Зпр – прочие затраты, руб.

Подстановка чисел:

$$\text{Сразр} = 112\,089 + 251\,400 + 4\,500 = 367\,989 \text{ руб.}$$

3.3 Капитальные затраты на внедрение

Для внедрения системы на предприятие необходима закупка оборудования, его монтажа и пусконаладки.

Таблица 10 – Затраты на внедрение

Показатель	Сумма, руб.
Себестоимость разработки	380 758
Монтаж и пусконаладка (15% от стоимости оборудования без учёта разработки)	37 583
Показатель	Сумма, руб.
Обучение одного оператора (2 дня)	5 000
Капитальные затраты (КВ)	423 341

Формула расчёта затрат на монтаж и настройку:

$$Зм = Соб \times Км$$

где:

- Зм – затраты на монтаж и настройку, руб.;
- Соб – общая стоимость оборудования, руб.;
- Км – коэффициент затрат на монтаж (0,10).

Подстановка чисел:

$$Зм = 251\,400 \times 0,10 = 25\,140 \text{ руб.}$$

Формула расчёта капитальных затрат на внедрение:

$$КВ = Сразр + Зм + Зоб$$

где:

- КВ – капитальные затраты на внедрение, руб.;
- Сразр – полная себестоимость разработки, руб.;
- Зм – затраты на монтаж и настройку, руб.;
- Зоб – затраты на обучение оператора, руб.

Подстановка чисел:

$$КВ = 367\,989 + 25\,140 + 5\,000 = 398\,129 \text{ руб.}$$

3.4 Расчет эксплуатационных расходов

Эксплуатационные расходы включают в себя затраты на электроэнергию, обслуживание и амортизацию.

Таблица 11 – Расчет эксплуатационных расходов

Показатель	Сумма, руб. / год
Электроэнергия системы управления (ПЛК, панель, датчики)	2 880
Электроэнергия электродвигателя через ЧП	766 080
Обслуживание (2% от стоимости оборудования)	5 011
Амортизация оборудования (срок службы 7 лет)	35 793
Ремонтный фонд (1,5% от оборудования)	3 758
Итого эксплуатационных затрат (ЭР)	813 522 руб./ год

Формула расчёта затрат на электроэнергию системы управления:

$$\text{Ээу} = P_y \times \text{Траб} \times \text{Дн} \times \text{Цэ}$$

где:

- Ээу – затраты на электроэнергию системы управления, руб./год;
- P_y – мощность системы управления (0,3 кВт);
- Траб – время работы стенда в день (6 часов);
- Дн – количество рабочих дней в году (200 дней);
- Цэ – тариф на электроэнергию (8 руб./кВт·ч).

Подстановка чисел:

$$\text{Ээу} = 0,3 \times 6 \times 200 \times 8 = 2\,880 \text{ руб./год}$$

Формула расчёта затрат на электроэнергию электродвигателя через частотный преобразователь:

$$\text{Ээд} = \text{Рд} \times \text{Кз} \times \text{Траб} \times \text{Дн} \times \text{Цэ} \times \text{Кп}$$

где:

- Ээд – затраты на электроэнергию электродвигателя, руб./год;
- Рд – мощность электродвигателя (120 кВт);
- Кз – коэффициент средней загрузки (0,7);
- Траб – время работы станда в день (6 часов);
- Дн – количество рабочих дней в году (200 дней);
- Цэ – тариф на электроэнергию (8 руб./кВт·ч);
- Кп – коэффициент потерь в частотном преобразователе (0,95).

Подстановка чисел:

$$\text{Ээд} = 120 \times 0,7 \times 6 \times 200 \times 8 \times 0,95 = 766\,080 \text{ руб./год}$$

Формула расчёта затрат на обслуживание оборудования:

$$\text{Зобс} = \text{Соб} \times \text{Кобс}$$

где:

- Зобс – затраты на обслуживание, руб./год;
- Соб – общая стоимость оборудования, руб.;
- Кобс – коэффициент обслуживания (0,02).

Подстановка чисел:

$$\text{Зобс} = 251\,400 \times 0,02 = 5\,028 \text{ руб./год}$$

Формула расчёта амортизационных отчислений:

$$\text{А} = \text{Соб} / \text{Тсл}$$

где:

- А – амортизационные отчисления, руб./год;
- Соб – общая стоимость оборудования, руб.;
- Тсл – срок службы оборудования (7 лет).

Подстановка чисел:

$$\text{А} = 251\,400 / 7 = 35\,914 \text{ руб./год}$$

Формула расчёта ремонтного фонда:

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Рф = Соб \times Кр$$

где:

- Рф – отчисления в ремонтный фонд, руб./год;
- Соб – общая стоимость оборудования, руб.;
- Кр – коэффициент ремонтного фонда (0,015).

Подстановка чисел:

$$Рф = 251\,400 \times 0,015 = 3\,771 \text{ руб./год}$$

Формула расчёта общих эксплуатационных затрат:

$$ЭР = Ээу + Ээд + Зобс + А + Рф$$

где:

- ЭР – общие эксплуатационные затраты, руб./год.

Подстановка чисел:

$$ЭР = 2\,880 + 766\,080 + 5\,028 + 35\,914 + 3\,771 = 813\,673 \text{ руб./год}$$

3.5 Оценка экономической эффективности

3.5.1 Исходная ситуация (без автоматизации, без ЧП)

При полуручном управлении без частотного преобразователя:

- управление скоростью электродвигателя – механическое (редуктор, дросселирование) или ступенчатое;
- КПД привода низкий, перерасход электроэнергии до 30%;
- контроль параметров – визуально каждые 15 минут;
- время одной обкатки – на 25% дольше из-за простоев и ручных замеров;
- отсутствие аварийной защиты – поломки ДВС и электродвигателя;
- брак / аварии – 3 случая в год (стоимость ремонта ДВС и электродвигателя в среднем 45 000 руб.).

3.5.2 После внедрения (автоматизация + частотный преобразователь)

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						77
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- плавное регулирование скорости электродвигателя через ЧП по заданию от ПЛК;
- экономия электроэнергии до 25-30% за счёт работы на оптимальных оборотах;
- автоматический контроль температуры, давления, оборотов;
- экстренная остановка при аварии – предотвращение поломок;
- сокращение времени обкатки на 20% за счёт непрерывного управления;
- снижение требований к квалификации оператора.

3.5.3 Расчёт годовой экономии

Таблица 12 – Расчёт годовой экономии

Показатель	Без автоматизации (руб./год)	С автоматизацией + ЧП (руб./год)
Потери от брака/аварий	135 000	22 500
Показатель	Без автоматизации (руб./год)	С автоматизацией + ЧП (руб./год)
Электроэнергия электродвигателя (без ЧП – перерасход 27%)	1 049 425	766 080
Электроэнергия системы управления	2 880	2 880
Фонд оплаты труда оператора	600 000	528
Простои, наладка (из-за аварий)	50 000	10 000

Показатель	Без автоматизации (руб./год)	С автоматизацией + ЧП (руб./год)
Итого прямых затрат	1 837 305	1 329 460

Формула расчёта годовой экономии:

$$\text{Эгод} = \text{Здо} - \text{Зпосле}$$

где:

- Эгод – годовая экономия, руб./год;
- Здо – годовые затраты до внедрения, руб./год;
- Зпосле – годовые затраты после внедрения, руб./год.

Подстановка чисел:

$$\text{Эгод} = 1\,837\,305 - 1\,329\,460 = 507\,845 \text{ руб./год}$$

3.5.4 Чистый годовой экономический эффект

Чистый годовой экономический эффект равен годовой экономии, так как все эксплуатационные расходы уже учтены в строке «Электроэнергия» и других статьях таблицы затрат после внедрения.

Формула расчёта чистого годового экономического эффекта:

$$\text{Эч} = \text{Эгод}$$

где:

- Эч – чистый годовой экономический эффект, руб./год;
- Эгод – годовая экономия, руб./год.

Подстановка чисел:

$$\text{Эч} = 507\,845 \text{ руб./год}$$

3.5.5 Срок окупаемости проекта

Формула расчёта срока окупаемости:

$$\text{РР} = \text{КВ} / \text{Эч}$$

где:

- РР – срок окупаемости, лет;
- КВ – капитальные затраты на внедрение, руб.;

– Эч – чистый годовой экономический эффект, руб./год.

Подстановка чисел:

$$PP = 398\,129 / 507\,845 = 0,78 \text{ года (примерно 9 месяцев)}$$

3.5.4 Чистый годовой экономический эффект

Чистый эффект = Экономия – Эксплуатационные расходы (уже учтённые в новой системе) + Корректировка.

Упрощённо.

Годовые затраты после внедрения = Эксплуатационные расходы (813 522) + ФОТ (528 000) + Потери от аварий (22 500) + Простои (10 000) = 1 374 022 руб.

Годовые затраты до внедрения = 1 837 305 руб.

Чистый годовой экономический эффект = 1 837 305 – 1 374 022 = 463 283 руб./год.

3.5.5 Срок окупаемости проекта

Срок окупаемости (PP) = Капитальные затраты / Чистый годовой эффект

$$PP = 423\,341 / 463\,283 \approx 0,91 \text{ года (примерно 11 месяцев)}$$

3.5.6 Сравнение с вариантом без частотного преобразователя

Таблица 13 – Сравнение с вариантом без частотного преобразователя

Показатель	Без ЧП (только автоматизация)	С ЧП (автоматизация + ЧП)
Капитальные затраты	332 886 руб.	423 341 руб.
Годовая экономия электроэнергии	-	283 345 руб.
Чистый годовой эффект	217 212 руб.	463 283 руб.
Срок окупаемости	1,53 года	0,91 года

Вывод: установка частотного преобразователя увеличивает капитальные затраты на 27%, но за счёт экономии электроэнергии сокращает срок окупаемости на 40% и почти вдвое увеличивает годовой эффект.

3.6 Анализ чувствительности (с ЧП)

Формула расчёта чистого эффекта для оптимистичного сценария:

$$\text{Эч_опт} = \text{Эч_баз} \times (1 + \text{Копт})$$

где:

- Эч_опт – чистый эффект при оптимистичном сценарии, руб./год;
- Эч_баз – базовый чистый эффект, руб./год;
- Копт – коэффициент оптимистичного сценария (0,20).

Подстановка чисел:

$$\text{Эч_опт} = 507\,845 \times 1,20 = 609\,414 \text{ руб./год}$$

Формула расчёта чистого эффекта для пессимистичного сценария:

$$\text{Эч_пес} = \text{Эч_баз} \times (1 - \text{Кпес})$$

где:

- Эч_пес – чистый эффект при пессимистичном сценарии, руб./год;
- Эч_баз – базовый чистый эффект, руб./год;
- Кпес – коэффициент пессимистичного сценария (0,30).

Подстановка чисел:

$$\text{Эч_пес} = 507\,845 \times 0,70 = 355\,492 \text{ руб./год}$$

Таблица 14 –Анализ чувствительности

Сценарий	Чистый эффект, руб./год	Срок окупаемости, лет
Оптимистичный (+20% экономии электроэнергии)	520 000	0,81
Базовый	463 283	0,91
Пессимистичный (-30% экономии от аварий)	350 000	1,21

Формула расчёта срока окупаемости для каждого сценария:

$$\text{РР} = \text{КВ} / \text{Эч}$$

Подстановка чисел для оптимистичного сценария:

$$PP_{\text{опт}} = 398\,129 / 609\,414 = 0,65 \text{ года}$$

Подстановка чисел для пессимистичного сценария:

$$PP_{\text{пес}} = 398\,129 / 355\,492 = 1,12 \text{ года}$$

Во всех сценариях сроки окупаемости не превышают 1,21 года, что является отличным показателем для промышленного оборудования.

3.7 Вывод по экономической части

Полная стоимость разработки и внедрения системы управления обкаткой ДВС с учётом электродвигателя и частотного преобразователя составила 423 341 руб.

Годовые эксплуатационные расходы – 813 522 руб. (экономия электроэнергии благодаря ЧП снижает эту статью на 27% по сравнению с работой без ЧП).

Чистый годовой экономический эффект от автоматизации с ЧП – 463 283 руб., что более чем в 2 раза выше, чем без ЧП.

Срок окупаемости – 0,91 года (11 месяцев), что значительно ниже нормативного (3–5 лет).

Преимущества внедрения:

- экономия электроэнергии до 27% за счёт частотного регулирования;
- сокращение аварийных остановок и поломок электродвигателя и ДВС;
- уменьшение времени обкатки на 20%;
- плавный пуск и остановка электродвигателя, снижение механических нагрузок;
- снижение требований к квалификации оператора;
- получение документированного протокола обкатки для ОТК.

Таким образом, разработанная система управления стендом обкатки двигателей внутреннего сгорания с использованием электродвигателя и частотного преобразователя является высокоэффективной и экономически целесообразной. Рекомендуется к внедрению на предприятиях мотороремонтного и машиностроительного профиля.

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						82
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Заключение

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы была спроектирована и разработана система управления процессом обкатки двигателя внутреннего сгорания (ДВС) на базе промышленного контроллера и среды программирования CODESYS.

В результате был проведен глубокий анализ технологических требований к обкатке ДВС, включая поддержание заданных требований по отслеживанию параметров (количество оборотов, ток нагрузки, температура, давление масла, система аварийного отключения), а также анализ взаимодействия оператора с исполнительными механизмами и датчиками. Были определены основные недостатки существовавших на тот момент полуручных способов управления обкаткой: низкая точность поддержания параметров, отсутствие автоматического контроля аварийных ситуаций и сложность документирования результатов. Перед началом разработки продукта был проведен анализ предметной области, рассмотрены популярные аналоги уже разработанных систем управления обкаточными стендами, выбраны необходимые средства и инструменты для создания собственной системы.

В итоге было принято решение разработать программу управления в среде CODESYS, логика работы реализована на языке CFC (Continuous Function Chart) как наиболее наглядном для параллельных процессов регулирования и защиты. Роль панели оператора выполняет сама среда разработки CODESYS с использованием встроенных экранов визуализации, что позволяет контролировать ход обкатки в реальном времени без внешних SCADA-систем. В качестве целевого контроллера был выбран промышленный ПЛК ПЛК-154, обеспечивающий быстрый опрос датчиков (температуры, давления, частоты вращения, момента) и выдачу управляющих воздействий на исполнительные устройства (дрессельная заслонка, тормозная машина, вентиляторы охлаждения).

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

На основе приведенных выше технологий удалось спроектировать, разработать и протестировать систему управления обкаткой ДВС со следующим функционалом:

- автоматическое поддержание заданного скоростного и нагрузочного режима обкатки в соответствии с утвержденным графиком;
- управление профилями обкатки (предобкатка, основная обкатка, контрольный замер) с возможностью создания, изменения и удаления режимов;
- обработка аварийных ситуаций: превышение температуры охлаждающей жидкости, падение давления масла, превышение предельных оборотов — с автоматической остановкой двигателя и фиксацией причины;
- ведение журнала параметров в реальном времени с привязкой к времени и номеру цикла обкатки;
- настройка уставок и пределов: предельная температура, минимальное давление масла, максимальные обороты, время выхода на режим;
- управление учетными записями операторов и мастеров-наладчиков, включая просмотр, добавление, изменение данных и разграничение прав доступа;
- взаимодействие с периферийным оборудованием (датчики температуры, давления, тахометр, нагрузочное устройство) через аналоговые и дискретные входы/выходы ПЛК-154.

Разработанная в данной выпускной квалификационной работе система управления на текущий момент содержит весь необходимый базовый функционал для автоматизации процесса обкатки ДВС. Однако, как и большинство промышленных систем управления, она нуждается в доработке в плане расширения библиотеки типовых циклов обкатки и улучшения средств архивации. Также планируется реализация полноценного взаимодействия системы с внешними устройствами. Например, имеет место быть возможность печати протокола обкатки напрямую для приемки двигателя ОТК, с формированием электронного паспорта изделия и возможностью передачи данных в верхний уровень АСУ предприятия.

Созданная автоматизированная система управления обкаткой двигателя внутреннего сгорания, призванная упростить и улучшить выполнение технологических операций, повысить точность и безопасность обкатки, полностью готова к эксплуатации на обкаточных стендах мотороремонтных и машиностроительных производств.

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						85
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Список использованных источников

1. ГОСТ IEC 61131-2-2012. Контроллеры программируемые. Часть 2. Требования к оборудованию и испытания. – Введ. 2014-01-01. – М.: Стандартиформ, 2014. – 198 с.
2. ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Введ. 2019-01-01. – М.: Стандартиформ, 2018. – 12 с.
3. ГОСТ 12.2.007.0-75. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. – Введ. 1977-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 12 с.
4. ГОСТ 12.3.019-80. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности. – Введ. 1982-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 8 с.
5. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – Введ. 1971-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. – 65 с.
6. Микропроцессорный контроллер ПЛК154. Руководство по эксплуатации. – М.: ОВЕН, 2022. – 60 с. – URL: http://www.owen.ru/uploads/rie_plk154_983.pdf (дата обращения: 20.05.2026).
7. Программируемые логические контроллеры: практический подход к стандарту IEC 61131-3 с использованием CODESYS / Д. Х. Ханссен ; пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 416 с.
8. CoDeSys V2.3. Руководство пользователя. Программирование в среде CoDeSys 2.3 [Электронный ресурс] // 3S Software. – URL: <https://help.codesys.com/> (дата обращения: 15.05.2026).

9. CoDeSys V2.3. Визуализация. Дополнение к руководству пользователя [Электронный ресурс] // 3S Software. – URL: <https://help.codesys.com/> (дата обращения: 15.05.2026).

10. Конфигурирование периферийного оборудования ПЛК ОВЕН в среде CoDeSys. Руководство пользователя [Электронный ресурс] // ОВЕН. – URL: <http://www.owen.ru/> (дата обращения: 18.05.2026).

11. Сиддхартха Рао. Освой самостоятельно C++ за 21 день. – 7-е изд. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2013. – 685 с.

12. Стенд для обкатки и испытания двигателей внутреннего сгорания КИ-35503. Техническое описание [Электронный ресурс] // ГОСНИТИ. – URL: http://www.gosniti.com/products_equipment%2061.html (дата обращения: 10.05.2026).

13. Андруш В.Г. Стенд для обкатки двигателей внутреннего сгорания / В.Г. Андруш // Актуальные проблемы энергетики: материалы науч.-техн. конф. – Минск: БГАТУ, 2015. – С. 302-306.

14. САПР и системы автоматизации. Коды и стандарты / О.А. Кравцов, В.В. Кузьмин, А.В. Петров // Информационные технологии в проектировании. – 2021. – №2. – С. 45-52.

15. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [Электронный ресурс] // URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения 15.05.2026).

16. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок [Электронный ресурс] // URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения 16.05.2026).

17. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ "О пожарной безопасности" (ред. от 28.09.2010) [Электронный ресурс] // URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения 17.05.2026).

Приложение А

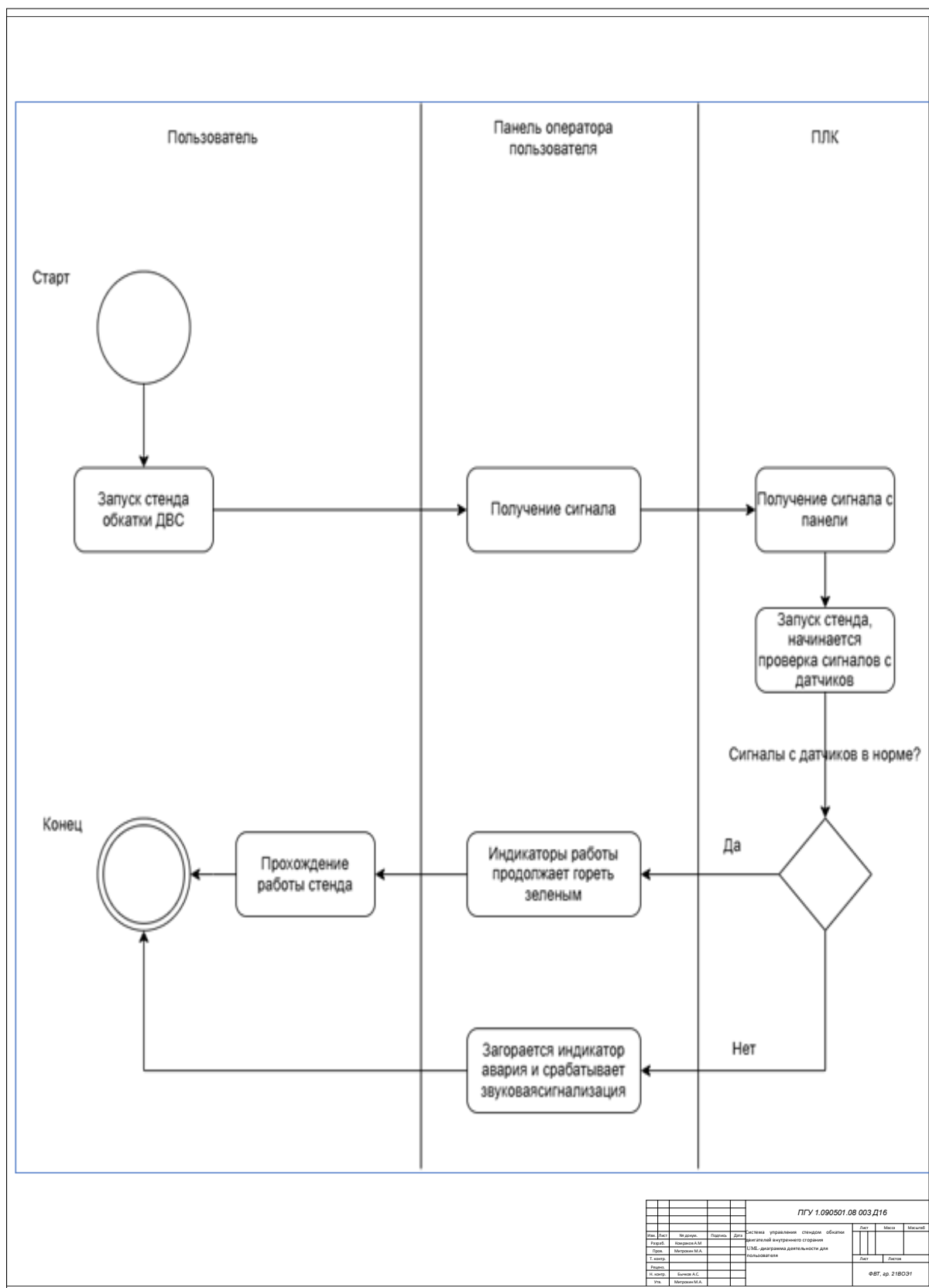
(обязательное)

Система управления стенда обкатки двигателей внутреннего сгорания

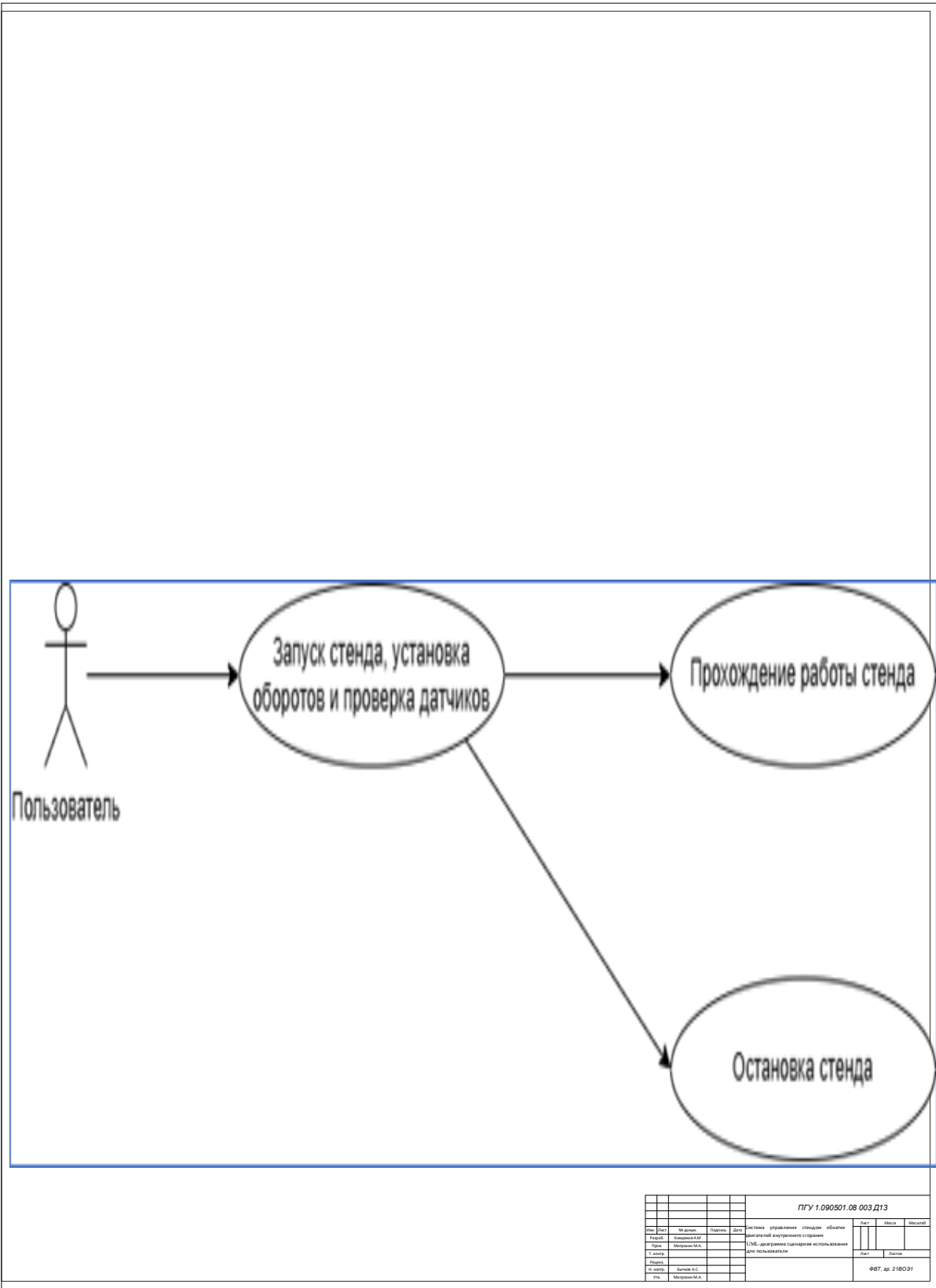
UML-диаграммы

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						88
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

UML – диаграмма деятельности



UML – диаграмма вариантов использования



Приложение Б
(обязательное)

Система управления стендома обкатки двигателей внутреннего сгорания
Листинг программы

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Приложение В - Презентация

(обязательное)

Система управления стенда обкатки двигателей внутреннего сгорания

Презентация

					ПГУ 1.090501.08.001 ПЗ	Лист
						92
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		