

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы Разработка человеко-машинного интерфейса на базе одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi

УДК 004.415.6:004.382.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т6Б	Петров Денис Олегович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин Максим Владимирович	Доцент, к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Цавнин Алексей Владимирович			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	Доцент, к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Матвиенко Владимир Владиславович			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Громаков Евгений Иванович	Доцент, к.т.н.		

Томск – 2020 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (Выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
P1	Демонстрировать базовые естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств. Уметь сочетать теорию, практику и методы для решения инженерных задач, и понимать область их применения.
P2	Иметь осведомлённость о передовом отечественном и зарубежном опыте в области теории, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств.
P3	Применять полученные знания для определения, формулирования и решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации современных систем автоматизации технологических процессов и производств с использованием передовых научно-технических знаний и достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P4	Уметь выбирать и применять соответствующие аналитические методы и методы проектирования систем автоматизации технологических процессов и обосновывать экономическую целесообразность решений.
P5	Уметь находить необходимую литературу, базы данных и другие источники информации для автоматизации технологических процессов и производств
P6	Уметь планировать и проводить эксперимент, интерпретировать данные и их использовать для ведения инновационной инженерной деятельности в области автоматизации технологических процессов и производств.
P7	Уметь выбирать и использовать подходящее программно-техническое оборудование, оснащение и инструменты для решения задач автоматизации технологических процессов и производств.
Универсальные компетенции	
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области автоматизации и управления техническими объектами, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам.
P10	Иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, юридических аспектов, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду.
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2020
--	------------

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

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин Максим Владимирович	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Цавнин Алексей Владимирович			

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Громаков Евгений Иванович	Доцент, к.т.н.		

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

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврская работа

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Т6Б	Петров Денис Олегович

Тема работы:

Разработка человеко-машинного интерфейса на базе одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none"> - Техническая документация по одноплатному микрокомпьютеру Raspberry Pi 3 - Техническая документация по открытому коммуникационному протоколу Modbus - Техническая документация по сенсорной панели waveshare 7inch HDMI LCD - Интернет-ресурсы по использованию открытой библиотеки EasyModbusTCP .Net
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<p>Компоненты устройства человеко-машинного интерфейса:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Оборудование для реализации устройства - Виды передачи данных <p>Реализация устройства человеко-машинного интерфейса:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Реализация аппаратной части устройства - Реализация передачи данных по Modbus TCP - Реализация программной части человеко-машинного интерфейса - Тестирование работоспособности устройства
Перечень графического материала	Презентация в формате *.pptx

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трубченко Татьяна Григорьевна
Социальная ответственность	Матвиенко Владимир Владиславович

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

Conclusion

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	24.02.2020
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин Максим Владимирович	к.т.н.		

Ассистент ОАР ИШИТР	Цавнин Алексей Владимирович			
------------------------	--------------------------------	--	--	--

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т6Б	Петров Денис Олегович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Т6Б	Петрову Денису Олеговичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет – 82459 руб. Затраты на заработную плату – 50205 руб. Затраты на электроэнергию – 278 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Тариф на электроэнергию 5,8 кВт/ч
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Налог во внебюджетные фонды 30,2% Районный коэффициент – 1,3 Накладные расходы – 16%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценка потенциальных потребителей исследования, анализ конкурентных решений, SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование этапов работ, определение трудоемкости и построение календарного графика, формирование бюджета.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка сравнительной эффективности исследования. Интегральный показатель ресурсоэффективности – 4,2 Интегральный показатель эффективности – 4,16 Сравнительная эффективность проекта – 1,01

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений Матрица SWOT План-график разработки и внедрения ИР Материальные затраты Расчет заработной платы Расчет бюджета затрат Сравнительная эффективность ИР

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.02.2020
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Татьяна Григорьевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т6Б	Петров Денис Олегович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8Т6Б	Петрову Денису Олеговичу

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

Разработка человеко-машинного интерфейса на базе одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является прототип устройства человеко-машинного интерфейса на базе одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi для использования с программируемым логическим контроллером. Разработанное устройство осуществляет прием и передачу информации с ПЛК с помощью протокола Modbus.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.01.2001 N 197-ФЗ – ГОСТ 12.2.032-79 «СССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования». – ГОСТ 12.2049-80 «ССБТ. Оборудование производственное». – ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. – ГОСТ Р 50923-96. Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
2. Производственная безопасность: <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<ul style="list-style-type: none"> – отклонение показателей микроклимата; – повышенный уровень шума на рабочем месте; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – электромагнитные излучения;

	– повешенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.
3. Экологическая безопасность:	– загрязнение атмосферы объектом исследования не выявлено; – загрязнение гидросферы объектом исследования не выявлено; – выявление загрязнения литосферы объектом исследования: утилизация оборудования
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– возникновение пожара

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.02.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Матвиенко Владимир Владиславович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т6Б	Петров Денис Олегович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 82 страницы, 31 рисунок, 19 таблиц, 30 источников.

Ключевые слова: человеко-машинный интерфейс, HMI-панель, Raspberry Pi, протокол Modbus TCP, C#.

Целью работы является разработка человеко-машинного интерфейса (HMI) для использования с программируемым логическим контроллером на базе сенсорной панели и микрокомпьютера Raspberry Pi. Разработанное устройство осуществляет прием и передачу информации с ПЛК с помощью протокола Modbus TCP. Объектом исследования является ПЛК, для которого разрабатывается человеко-машинный интерфейс.

В рамках работы осуществлен анализ существующих решений в данной области, выявлены их преимущества и недостатки. Затем был выполнен сравнительный анализ существующих аппаратных платформ, потенциально подходящих для прототипирования. На основе стоимости и вычислительных возможностей был выбран одноплатный микрокомпьютер Raspberry Pi 3. В ходе реализации проекта был разработан человеко-машинный интерфейс с использованием языка C# и уже существующих библиотек для взаимодействия по протоколу Modbus TCP.

Результатом работы является опытный образец HMI панели, выполняющей базовый функционал по передаче информации между ПЛК и панелью оператора.

Область применения: объекты промышленного производства, системы автоматизации.

Значимость работы заключается в снижении издержек производства за счет внедрения недорогого решения человеко-машинного интерфейса.

В будущем планируется модификация устройства путем расширения его функционала.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	13
1 ОБЗОР РЫНКА ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ	14
2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	18
2.1 Человеко-машинный интерфейс.....	18
2.2 Открытый коммуникационный протокол Modbus	19
2.3 Библиотека EasyModbusTCP .NET.....	20
3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА	24
3.1 Выбор аппаратной платформы	24
3.2 Аппаратная структура.....	26
3.3 Настройка программного обеспечения.....	27
3.4 Принцип работы устройства.....	34
3.5 Программная реализация функционала устройства.....	35
4 РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ.....	44
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	46
Введение	46
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования	46
5.2 Анализ конкурентных технических решений	47
5.3 SWOT-анализ.....	49
5.4 Планирование реализации проекта в рамках НТИ.....	51
5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования	51
5.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ	52
5.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	57
5.5.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования (НТИ).....	57
5.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы	58
5.5.3 Дополнительная заработная плата исполнителей НТИ	60
5.5.4 Отчисление во внебюджетные фонды	60
5.5.5 Прочие прямые затраты.....	61

5.5.6 Накладные расходы	61
5.5.7 Формирование бюджета затрат на реализацию НТИ.....	62
5.6 Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	63
Вывод по разделу	65
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	67
Введение	67
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .	67
6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	67
6.1.2 Организационные мероприятия по компоновке рабочей зоны...	68
6.2 Профессиональная социальная безопасность	68
6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования	69
6.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действий опасных и вредных факторов	70
6.3 Экологическая безопасность.....	72
6.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .	72
6.3.2 Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду.....	72
6.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	73
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	74
6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	74
6.4.2 Анализ причин, которые могут вызвать ЧС на производстве при внедрении объекта исследований	74
6.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае возникновения ЧС.....	75
Вывод по разделу	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	78
CONCLUSION	79
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	80

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование современной системы управления зависит от согласованной работы всех ее частей. Высокопроизводительные вычислительные средства, которые поддерживают унифицированные сигналы контроля управления, а также открытые протоколы данных, обеспечивают необходимое качество взаимодействия внутри программно-аппаратного комплекса. Требуемый уровень связи и взаимодействия между подобным комплексом и оперативным персоналом достигается с помощью средств человеко-машинного интерфейса [1].

Независимо от степени автоматизации, именно от операторов зависит принятие решений, а также штатное функционирование всего автоматизированного технологического комплекса, таким образом одну из важнейших ролей на объектах промышленной автоматизации занимает ЧМИ.

Панель оператора является универсальным средством создания человеко-машинного интерфейса в различных системах автоматизации, становящейся все более популярной, благодаря своему широкому функционалу. Единственным недостатком данного оборудования является его дороговизна, в следствии чего, является актуальной задача по созданию бюджетного варианта НМИ.

В данной работе рассмотрен процесс создания человеко-машинного интерфейса на базе открытого коммуникационного протокола Modbus. Под процессом создания подразумевается осуществление сравнительного анализа существующих на рынке аппаратных платформ, которые бы имели возможность быть перепрограммируемыми под цели и задачи пользователя, а также удовлетворяли бы требованиям к техническим характеристикам. Помимо этого, сюда входит разработка программного обеспечения, осуществляющего передачу информации между ПЛК и панелью оператора.

В ходе выполнения работы разработан опытный образец, выполняющий базовый функционал операторской панели.

1 ОБЗОР РЫНКА ЧЕЛОВЕКО - МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ

На сегодняшний день существует 3 основных способа создания человеко-машинного интерфейса, а именно:

1. использование светосигнальной арматуры, в виде сигнальных ламп, маячков, кнопок и переключателей (рисунок 1.1);
2. применение панелей компьютеров и панелей операторов, то есть HMI-панелей;
3. реализация ЧМИ на базе автоматизированных рабочих мест, которые представляют собой персональный компьютер с развернутой SCADA – системой (рисунок 1.2).

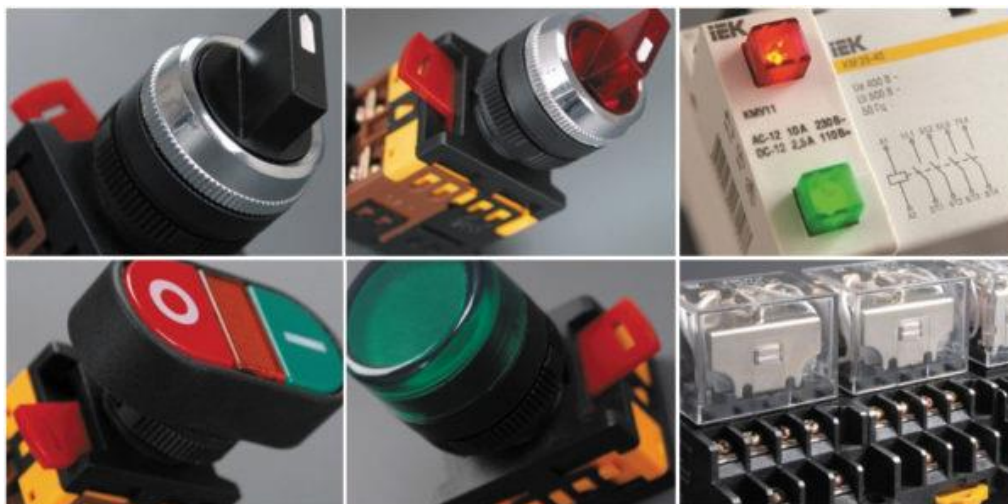


Рисунок 1.1 – Светосигнальная арматура



Рисунок 1.2 – АРМ на базе SCADA системы

Выбор способа организации человеко-машинного интерфейса зависит от ряда факторов, таких как: целесообразность применения конкретного технического решения, архитектура, а также сложность автоматизированной системы. Так, например, преимуществом первого способа является низкая стоимость реализации, ремонтпригодность и высокая надежность.

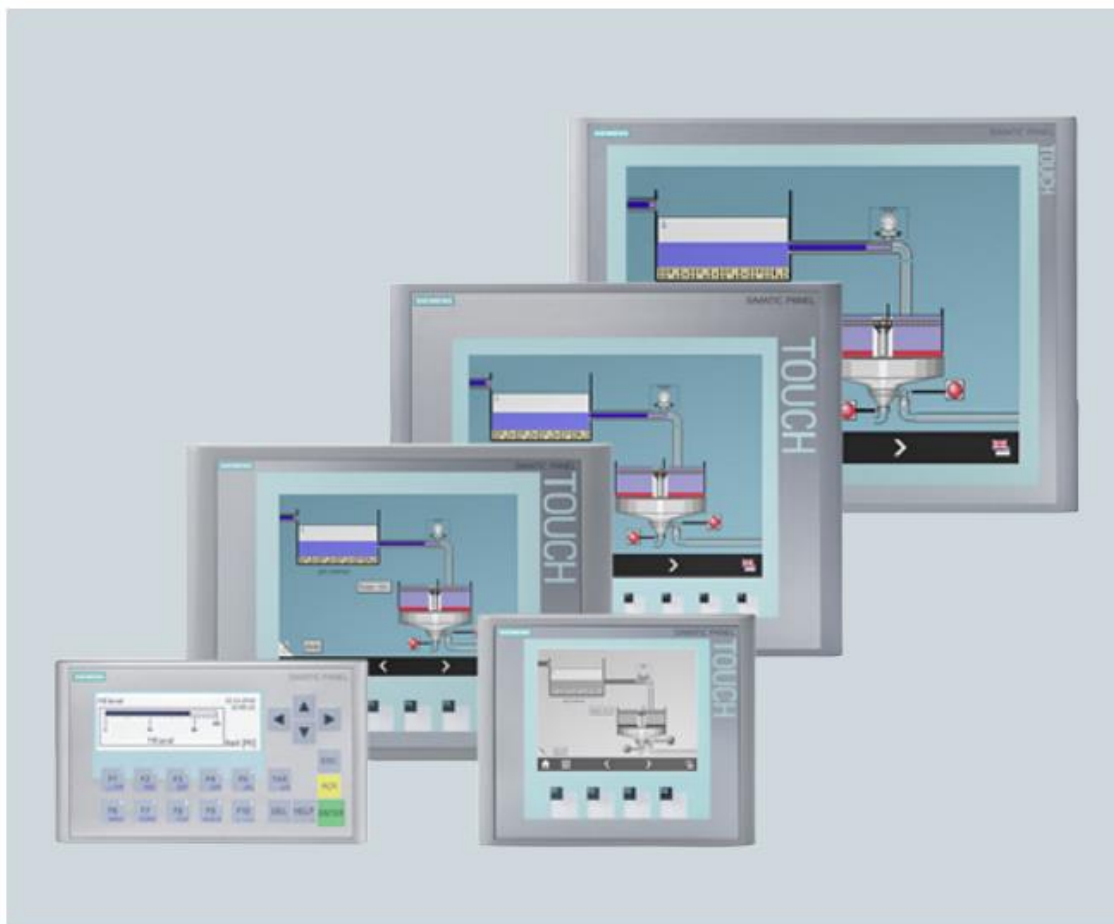


Рисунок 1.3 – HMI-панель

На сегодняшний день широко используются операторские панели (рисунок 1.3) в связи с тем, что они являются одним из самых оптимальных способов автоматизации для любого производства, так как позволяют решить большинство возникающих задач, связанных с автоматизацией производственных процессов.

Комбинированный подход к реализации ЧМИ обусловлен трехуровневой архитектурой современных АСУ (рисунок 1.4): SCADA-система развернута на верхнем уровне, а операторские панели помещены на средний уровень [1].

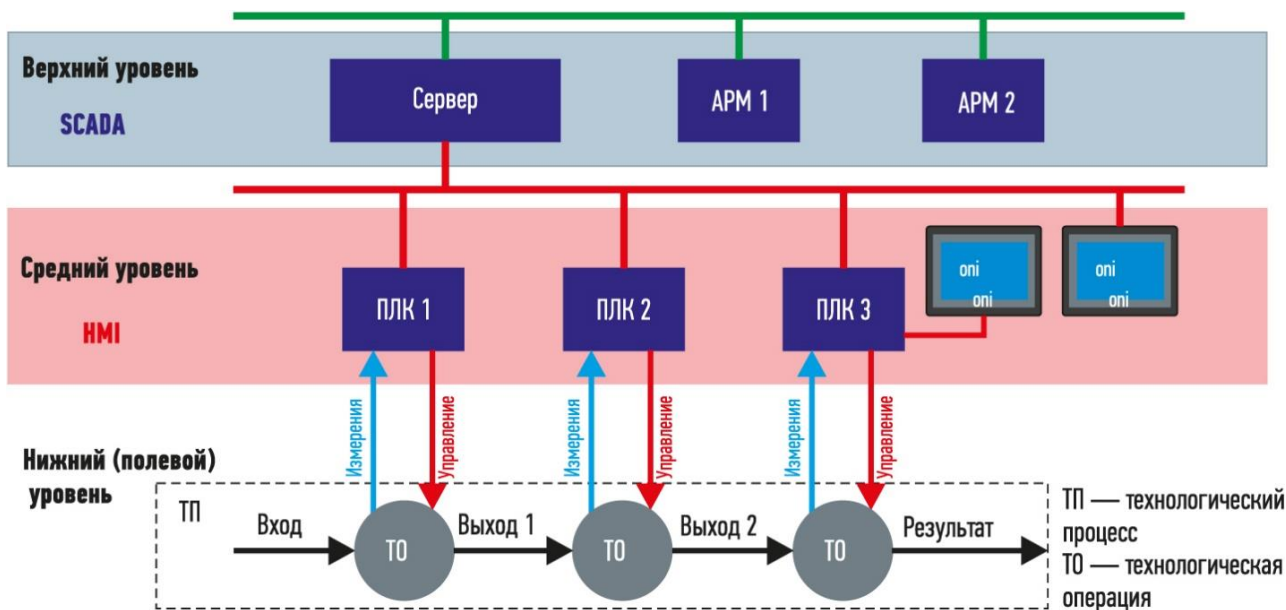


Рисунок 1.4 – Трехуровневая структура АСУ ТП

Использование на среднем уровне панелей оператора в первую очередь повышает надежность работу АСУ. В большинстве случаев НМІ-панель является составной частью щита или пульта управления отдельной технологической операцией или технологическим процессом. Оперативный персонал имеет возможность локально производить настройку и контроль параметров технологического процесса в случае выхода из строя центрального АРМ на базе SCADA-системы. Помимо этого, использование данных панелей повышает скорость и эффективность пуско-наладочных работ.

На сегодняшний день на рынке существуют множество решений, таких компаний, как:

- Siemens;
- Овен;
- Allen Bradley;
- Weintek;
- Агава;
- 2N;
- Advantech.

В таблице 1.1 представлен сравнительный анализ основных характеристик операторских панелей разных производителей.

Таблица 1.1 - Сравнительный анализ существующих решений

Производитель	Диагональ	Поддерживаемые протоколы	Габаритные размеры (ш × в), мм	Цена, руб
Siemens	7 дюймов	Profibus, MPI, Modbus RTU	154,1×85,9	65000
Овен		Modbus RTU, Modbus ASCII, Modbus TCP	200,4×146,9	25000
Weintek		Modbus RTU, Modbus ASCII	200,4×146,5	20000
Агава		Modbus RTU	195×154	30000
2N		RTSP, SIP	235×165	80000
Advantech		Более 300 PLC протоколов промышленной связи	188×143,3	45000

Основным недостатком всех представленных на рынке решений является их дороговизна. Таким образом, задача по разработке более дешевого аналога человеко-машинного интерфейса для осуществления взаимодействия с программируемым логическим контроллером на сегодняшний день является достаточно актуальной.

2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Человеко-машинный интерфейс

Возможность оператора контролировать работу системы и управлять ей при помощи методов и средств обеспечения взаимодействия какой-либо технической системы и оператора называется человеко-машинным интерфейсом [3].

Важной частью любой АСУ были и остаются средства человека-машинного интерфейса, так как персонал, управляющий технологическими процессами, по-прежнему играет значимую роль на производстве.

Успех работы всей автоматизированной системы управления напрямую зависит от того, насколько удобны, понятны, надежны и функциональны технические средства НМИ, которые предназначены для взаимодействия между оборудованием и техническим персоналом [4].

При правильном выборе интерфейса и его настройке операторы могут не только контролировать и управлять технологическими процессами с большей точностью, но и осуществлять плановое профилактическое обслуживание и диагностику системы, достигая при этом увеличения производительности труда за счет сокращения времени простоев [4].

Таким образом, задачей человеко-машинного интерфейса является обеспечение организации взаимодействия между оператором и программно-аппаратным комплексом. В связи с тенденциями современного мира, предполагается широкое использование различных мобильных средств, таких как: сенсорные панели, планшеты и смартфоны. Так, например, одним из вариантов организации контроля и управление исполняемых прикладных программ на программируемом логическом контроллере является использование сенсорной панели, использованной в ходе данной работы. Также, в данной работе, для отображения требуемой информации в ЧМИ, передача данных с ПЛК осуществлена по протоколу ModbusTCP.

2.2 Открытый коммуникационный протокол Modbus

Коммуникационный протокол Modbus является открытым и основывается на архитектуре ведущих (англ. master) - ведомый (англ. slave). Данный стандарт часто применяется в промышленности для осуществления связи между электронными устройствами. Помимо возможности использования для передачи данных по средствам последовательных линий связи, таких как RS-232, RS-485, RS-422, он используется в сетях TCP/IP [5].

В данном стандарте специфицируется 4 таблицы данных:

- discrete inputs - данный тип является однобитовым и доступен только для чтения;
- coils - также является однобитовым, но, помимо чтения, доступна и запись;
- input registers - является шестнадцати битовым знаковым или без знаковым типом. Данный тип доступен только для чтения;
- holding registers - является шестнадцати битовым знаковым или без знаковым типом. Данный тип доступен как для чтения, так и для записи.

Открытость и массовость являются основным достоинством данного стандарта. На данный момент промышленность производит большое количество различных типов и моделей исполнительных устройств, датчиков, модулей нормализации и обработки сигналов. Большинство промышленных систем управления и контроля имеют программные драйверы для работы с Modbus-сетями [5, 6].

Из недостатков данного стандарта можно выделить то, что некоторые актуальные вопросы для современных промышленных сетей не учтены в связи с тем, что основа данного стандарта была разработана в 1979 году и учитывала вычислительные возможности и потребности того времени. При этом важно отметить то, что отсутствие перечисленных выше возможностей является следствием простоты данного протокола, что, в свою очередь, облегчает и ускоряет внедрение [7].

Таким образом, коммуникационный протокол ModbusTCP является подходящим вариантом для использования в данной работе при разработке прототипа человеко-машинного интерфейса.

Взаимодействие на шине Modbus осуществляется при использовании модели master и slave. В большинстве случаев в сети есть только одно главное устройство и несколько подчиненных. За инициацию транзакции отвечает главное устройство, передающее запросы, которые могут быть адресованы как конкретному slave устройству, так и инициировать передачу при помощи широковещательного канала для всех подчиненных устройств. После распознавания slave устройством своего адреса, оно отвечает на запрос, который был ему адресован. В данной работе в роли главного (master) устройства выступает Raspberry Pi, а в роли подчиненного (slave) устройства - ПЛК.

2.3 Библиотека EasyModbusTCP .Net

На данный момент достаточно распространенным инструментом при работе с протоколом Modbus является свободно распространяемая библиотека EasyModbusTCP.

EasyModbusTCP - библиотека, обеспечивающая быстрый и безопасный доступ с ПК или встраиваемых систем ко многим ПЛК-системам, а также другим компонентам для автоматизации промышленности. Данная библиотека реализована для таких языков программирования, как C#, Java и Python. В данной работе используется версия библиотеки для языка C# - EasyModbusTCP .Net [8].

Библиотека содержит следующие методы для подключения, отключения настройки соединения:

- constructor ModbusClient(string ipAddress, int port) – конструктор для соединения Modbus TCP и UDP. Параметр ipAddress служит для задания IP-адреса TCP-сервера Modbus, параметр port – порт прослушивания сервера Modbus TCP;

- `void Connect()` – служит для подключения к серверу Modbus с ранее выбранными свойствами;
- `public bool Available(int timeout)` – проверяет, доступен ли IP-адрес сервера. Параметра `timeout` является временем ожидания ответа;
- `void Disconnect()` – закрывает соединение с главным устройством.

Следующие методы используются для чтения и записи информации в регистры [9]:

- `bool[] ReadDiscreteInputs(int startingAddress, int quantity)` – используется для чтения данных типа `Discrete Inputs` с устройства. Первый вход задается при помощи параметра `startingAddress`, а количество входов – при помощи параметра `quantity`;
- `bool[] ReadCoils(int startingAddress, int quantity)` – считывает данные типа `Coils` с устройства;
- `int[] ReadHoldingRegisters(int startingAddress, int quantity)` – используется для чтения данных типа `Holding Registers` с устройства. Первый вход задается при помощи параметра `startingAddress`, а количество входов – при помощи параметра `quantity`;
- `int[] ReadInputRegisters(int startingAddress, int quantity)` – считывает данные типа `Input Registers` с устройства;
- `void WriteSingleCoil(int startingAddress, bool value)` – осуществляет запись значения одного бита в регистр;
- `void WriteMultipleCoils(int startingAddress, bool[] values)` – используется для записи значений набора битов в устройство;
- `void WriteSingleRegister(int startingAddress, int value)` – служит для записи одного регистра, подключенного устройства;
- `void WriteMultipleRegisters(int startingAddress, int[] values)` – осуществляет запись нескольких регистров.

Помимо описанных выше методов, немаловажную роль играют методы, позволяющие осуществлять преобразование информации в регистрах в определенный тип данных и наоборот. Для реализации данного функционала используются следующие методы [9]:

- `static float ConvertRegistersToFloat(int[] register)` – преобразует два регистра Modbus в число с плавающей запятой и возвращает полученное значение. Параметр `register` является массивом, содержащим два значения регистра, полученные от Modbus;
- `static float ConvertRegistersToFloat(int[] registers, RegisterOrder registerOrder)` – конвертирует два регистра Modbus в тип `float`, при этом регистры могут поменяться местами. Данный метод возвращает преобразованное значение;
- `static Int32 ConvertRegistersToInt(int[] registers)` – преобразовывает два Modbus регистра в тридцати двух битное целое значение;
- `public static Int64 ConvertRegistersToLong(int[] registers)` – конвертирует четыре шестнадцати битных регистров в шестидесяти четырех битное целочисленное значение;
- `public static double ConvertRegistersToDouble(int[] registers)` – служит для преобразования четырех шестнадцати битных регистра шестидесяти четырех битное значение типа `double`;
- `public static int[] ConvertFloatToTwoRegisters(float floatValue)` – преобразует тип `float` в два регистра Modbus и возвращает полученное значение в виде массива значений типа `int`. Параметр `floatValue` является значением с плавающей точкой, которое должно быть преобразовано в два регистра;
- `public static int[] ConvertIntToTwoRegisters(Int32 intValue)` – служит для преобразования тридцати двух битного значения в два регистра Modbus;

- `public static int[] ConvertLongToTwoRegisters(Int64 longValue)` – преобразует 64-битное значение в четыре Modbus регистра;

- `public static string ConvertRegistersToString(int[] registers, int offset, int stringLength)` – используется для преобразования шестнадцати битных значений регистра в строку. Параметр `registers` является массивом, полученные через Modbus, параметр `offset` является адресом первого регистра, содержащего строку для преобразования, а `stringLength` – это параметр, характеризующий количество символов в строке. Также параметр `stringLength` должен быть четным;

- `public static int[] ConvertStringToRegisters(string stringToConvert)` – преобразует строку в шестнадцать битные регистры.

Таким образом, библиотека `EasyModbus` при своей простоте и удобстве использования имеет огромный функционал, позволяющий осуществлять работу с Modbus TCP.

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА

3.1 Выбор аппаратной платформы

Разработанный прототип человеко-машинного интерфейса представляет собой сенсорную панель, подключенную к универсальной аппаратной платформе, на которой происходит прием и обработка информации с ПЛК и ее отображение на сенсорной панели, а также реагирование на действия технического персонала при использовании данного устройства. Данные операции предполагают наличие у аппаратной платформы достаточно больших вычислительных мощностей. Таким образом, для разработки данного устройства одной из важнейших характеристик платформы будет являться ее вычислительная мощность. Также, немаловажным фактором является цена выбираемой платформы.

Для проведения сравнительного анализа в ходе поиска оптимального решения были выбраны наиболее популярные платформы такие как Cubieboard3, Khadas VIM, Raspberry Pi 3, Pocket S.H.I.P.

В таблице 3.1.1 приведена сводная информация по характеристикам рассматриваемых устройств.

Таблица 3.1.1 – Сравнительный анализ аппаратных платформ

Наименование устройства	CPU	RAM	Порты и интерфейсы	Стоимость
Cubieboard3	2 ГГц	2 ГБ	IR, USB 2.0 x2, eSATA, HDMI	89\$
Khadas VIM	2 ГГц	2 ГБ	USB, Ethernet	55\$
Raspberry Pi 3	1,4 ГГц	1 ГБ	HDMI, USB, Ethernet, КОМПЗИТНЫЙ ВЫХОД	45\$
Pocket S.H.I.P.	1 ГГц	512 МБ	HDMI, VGA	69\$

Исходя из результатов анализа, приведенных в таблице 3.1.1, устройство Raspberry Pi 3 является наиболее оптимальным решением задачи выбора платформы.

Raspberry Pi 3 - одноплатный компьютера, имеющий небольшие габариты, но при этом имеющий функциональные возможности, доступные мощным настольным системам (рисунок 3.1.1). Такой набор характеристик делает данное устройство хорошим вариантом для использования в качестве аппаратной платформы для разрабатываемого устройства [10].

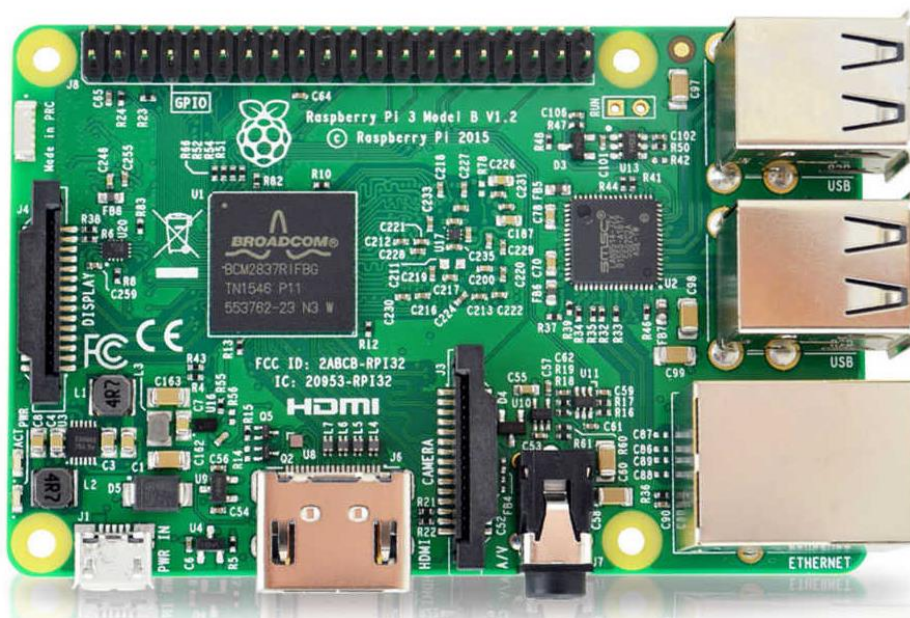


Рисунок 3.1.1 – Raspberry Pi 3

Данная аппаратная платформа поддерживается следующим набором операционных систем [10]:

- Raspbian, являющаяся официальным вариантом Debian;
- Windows 10 IoT, являющаяся достаточно урезанной версией;
- Ubuntu MATE;
- Debian Wheezy;
- Fedora Remix;
- OSMC;
- RISC OS.

В рамках данной работы было принято решения использовать операционную систему Raspbian, в связи со своей оптимизированностью для

процессоров ARM, которые используются в линейке микрокомпьютеров Raspberry Pi.

3.2 Аппаратная структура

Разработанный прототип человеко-машинного интерфейса в своем составе имеет основные аппаратные компоненты:

- микрокомпьютер Raspberry Pi 3;
- сенсорный дисплей waveshare 7inch HDMI LCD;
- hdmi - кабель.

Сенсорный дисплей диагональю 7.0 дюйма был подключен для демонстрации работы устройства к микрокомпьютеру. Данное устройство требует программной настройки путем установки соответствующего драйвера.

На рисунке 3.2.1 представлена принципиальная схема устройства.

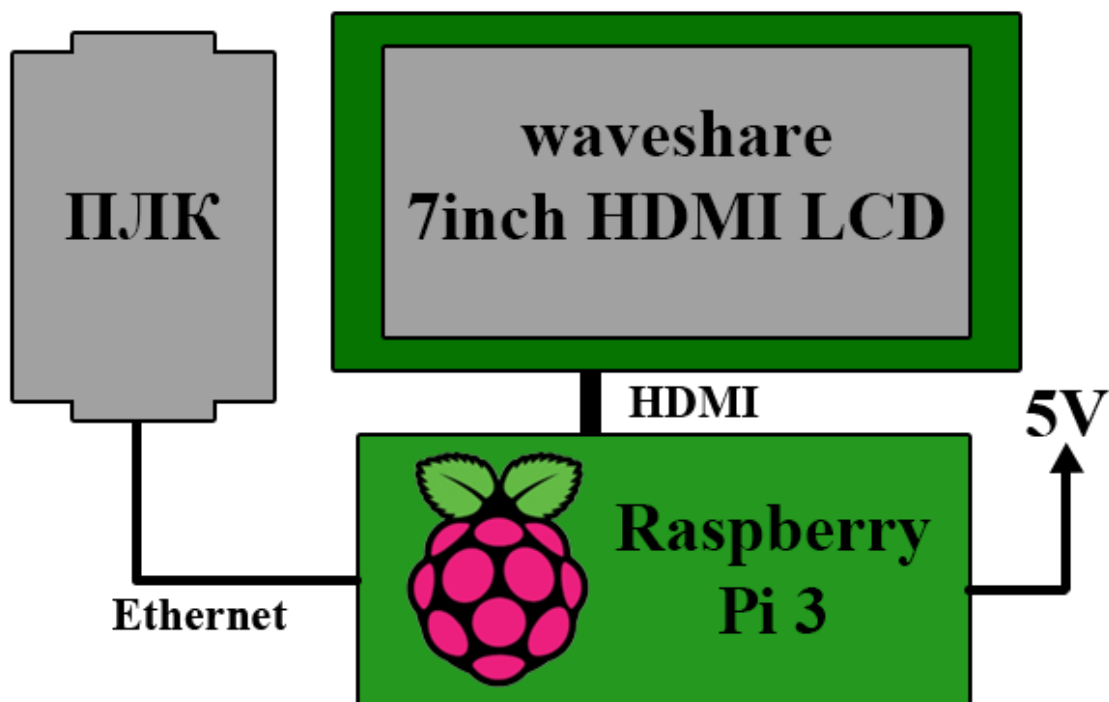


Рисунок 3.2.1 - Принципиальная схема устройства

На рисунке 3.2.2 представлена собранная включенная аппаратная часть.



Рисунок 3.2.2 - Собранная аппаратная часть

3.3 Настройка программного обеспечения

Первым этапом настройки программного обеспечения платформы является установка и обновление операционной системы Raspbian. Для осуществления обновления, а затем, и для последующих программных манипуляций, используется терминал при подключенном к сети Интернет микрокомпьютере.

При помощи программы Win32DiskImager устанавливаем операционную систему Raspbian OS на SD карту. После успешного завершения установки вставляем SD карту в Raspberry Pi. Подключаем USB кабель питания, а также подсоединяем Raspberry Pi к ноутбуку при помощи кабеля Ethernet. Для обновления необходимого ПО на Raspberry Pi потребуется доступ к сети

Интернет. Для этого необходимо настроить сетевой мост между ноутбуком, к которому подключено устройство и Raspberry [11].

Перейдем в «центр управления сетями и общим доступом», затем откроем вкладку «изменение параметров адаптера» (рисунок 3.3.1).

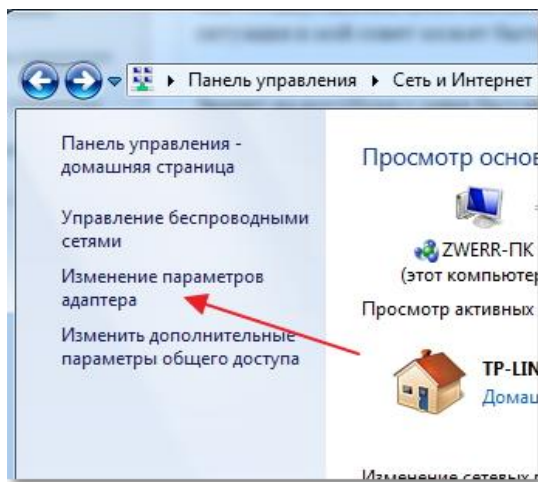


Рисунок 3.3.1 – Изменение параметров адаптера

Теперь настроим сетевой мост (рисунок 3.3.2).

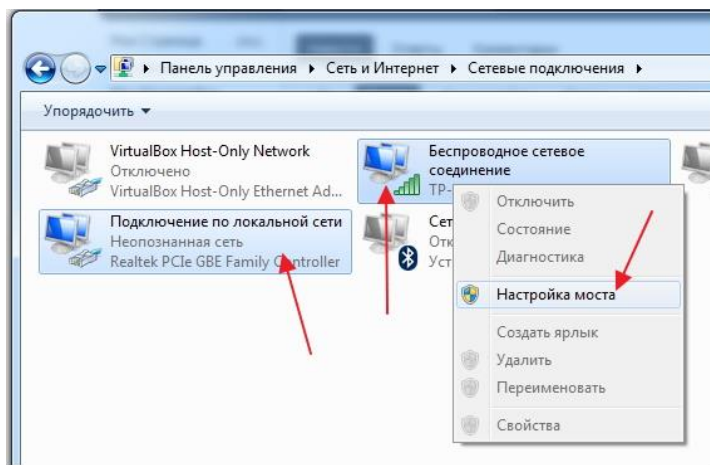


Рисунок 3.3.2 – Настройка сетевого моста

Дождемся, когда Windows создаст мост для подключений. На рисунке 3.3.3 представлен результат создания сетевого моста.

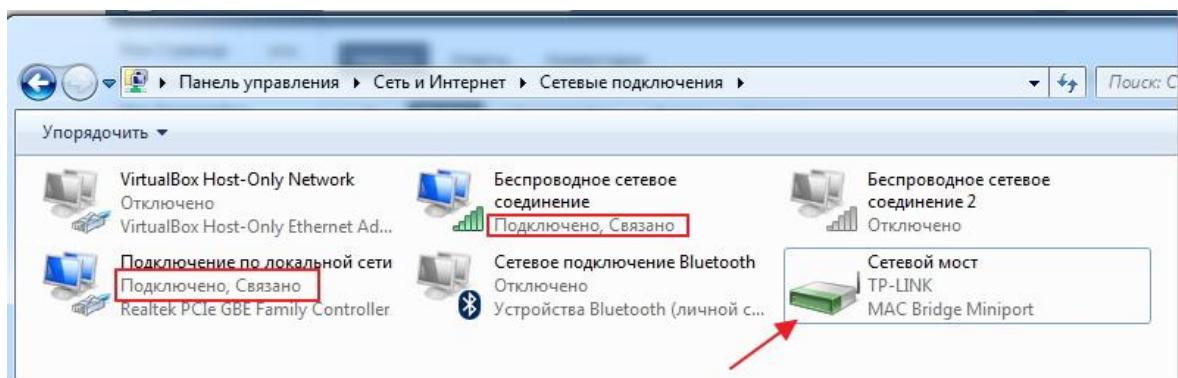


Рисунок 3.3.3 – Результат создания сетевого моста

Теперь необходимо узнать IP нашего Raspberry Pi. Для этого воспользуемся программой Advanced IP Scanner. Запустив данную программу, нажмем «сканировать». И через некоторое время получим список устройств, подключенных к локальной сети (рисунок 3.3.4).

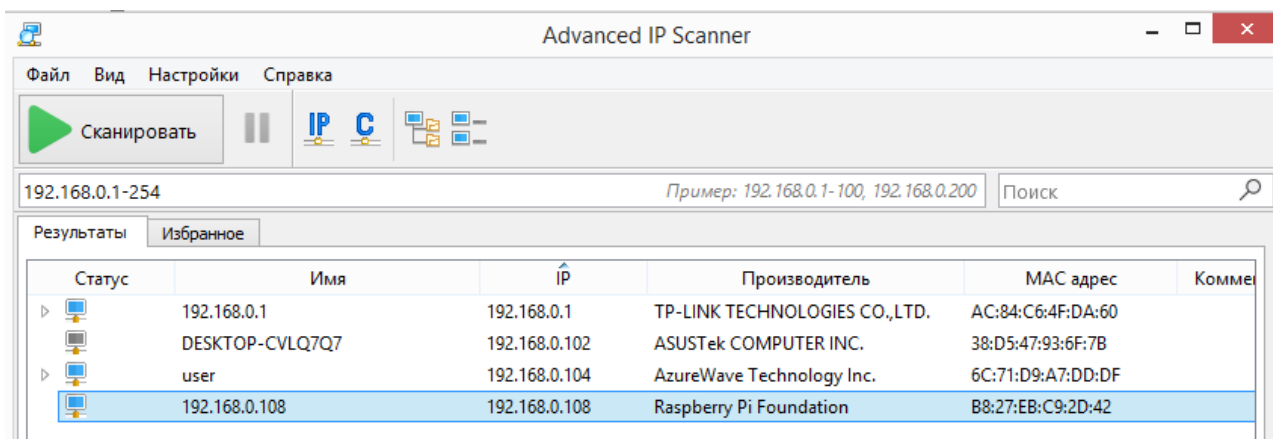


Рисунок 3.3.4 – Результат сканирования локальной сети

Затем подключимся к Raspberry Pi для выполнения окончательных настроек ОС, а также для настройки сенсорной панели waveshare 7inch HDMI LCD. Для этого подключимся к Raspberry Pi при помощи программы PuTTY.

Запустим PuTTY и введем IP адрес Raspberry, полученный на предыдущем этапе (рисунок 3.3.5).

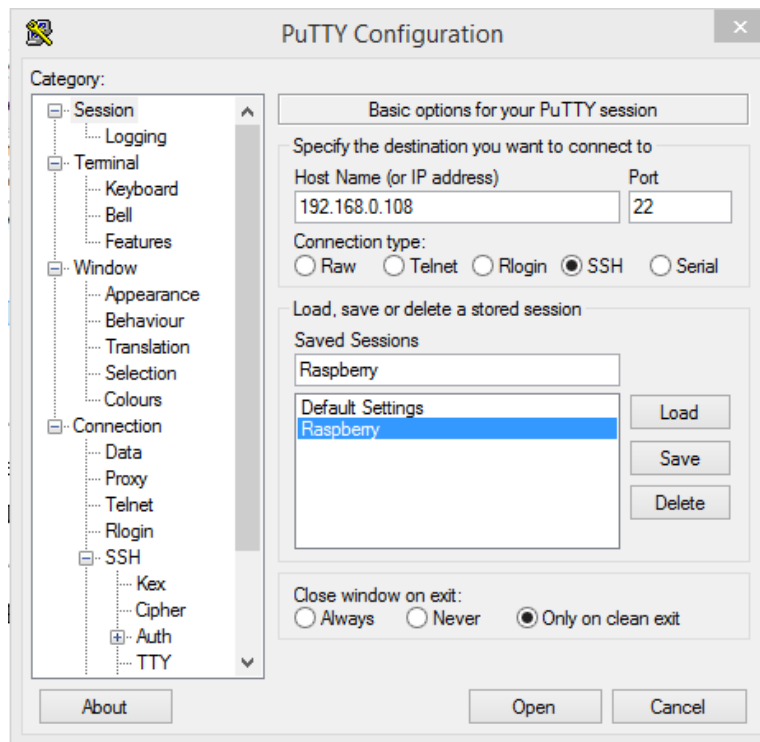


Рисунок 3.3.5 – Подключение к Raspberry через PuTTY

Также, необходимым условием подключения к устройству является включение настройки «Enable X11 Forwarding» в программе PuTTY, в разделе Connection / SSH / X11 (рисунок 3.3.6).

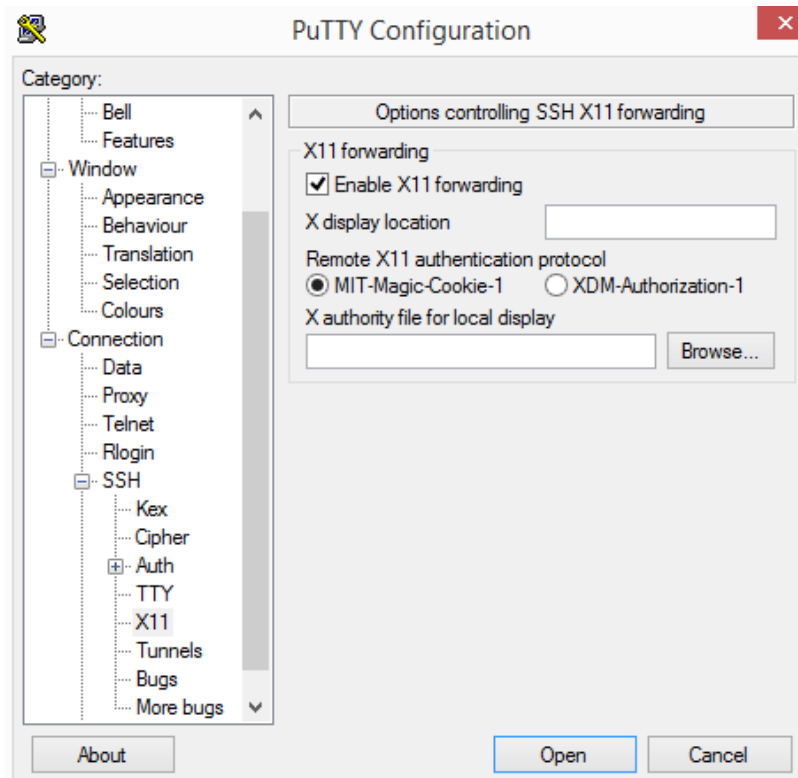


Рисунок 3.3.6 – Настройка SSH

Теперь можно осуществить подключение к Raspberry Pi. В окне терминала необходимо ввести логин «pi» и пароль «raspberrypi» (рисунок 3.3.7).

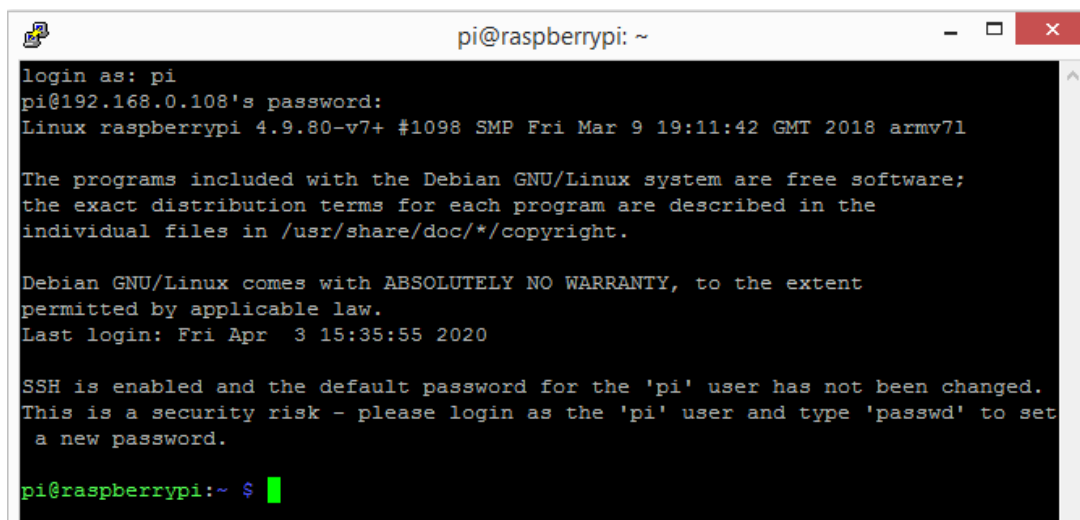


Рисунок 3.3.7 – Подключение к Raspberry Pi

После ввода логина и пароля произойдет подключение к окну терминала. Для запуска программы настройки Raspberry Pi введем следующую команду:

```
sudo raspi-config
```

Запустится программа настройки Raspberry Pi, перейдем к «Expand Filesystem» (рисунок 3.3.8), а после, проделанной процедуры, перезагрузим устройство и снова подключимся к Raspberry Pi.

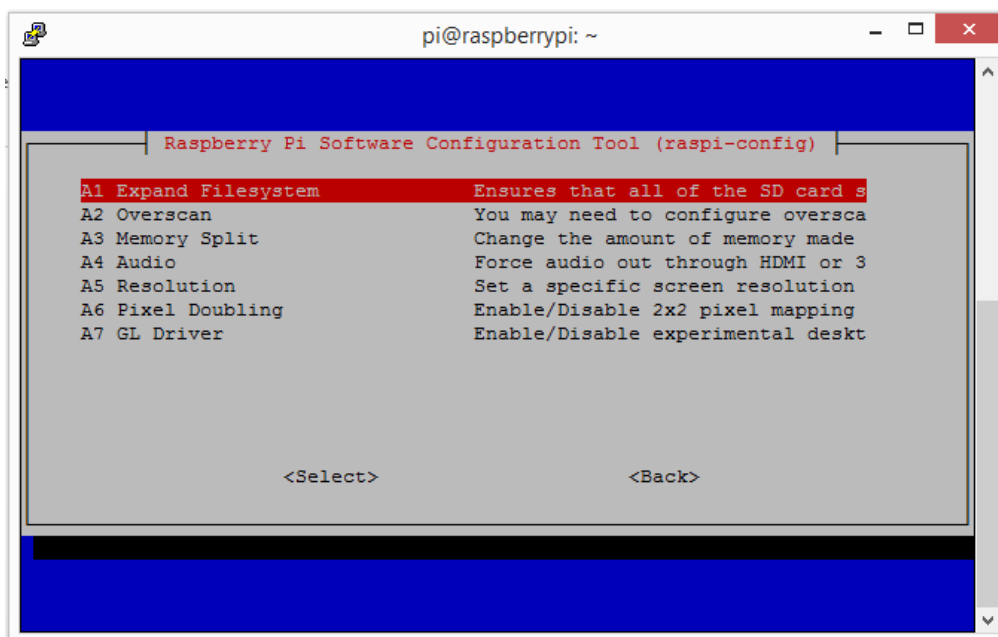


Рисунок 3.3.8 – Расширение файловой системы

Затем, для обновления всего установленного программного обеспечения, используем следующие команды:

```
sudo apt-get update  
sudo apt-get upgrade
```

Также, настроим сенсорный дисплей путем установки необходимых библиотек, для этого напишем следующие строки кода в файле config.txt, который расположен в корневой папке, используемой SD карты [12]:

```
max_usb_current=1  
hdmi_group=2  
hdmi_mode=87  
hdmi_cvt 1024 600 60 6 0 0 0
```

Затем, в терминале Raspberry Pi введем следующие команды [12]:

```
git clone https://github.com/waveshare/LCD-show.git  
cd LCD-show/  
chmod +x LCD7-1024x600-show  
./LCD7-1024x00-show
```

После перезагрузки устройство будет готово к работе. Панель waveshare имеет следующие физические кнопки (рисунок 3.3.9):

- power: включение или выключение экрана;
- menu: открывает экранное меню, а при использовании меню можно использовать данную кнопку в качестве подтверждения);
- up/left: кнопка направления;
- down/Right: кнопка направления;
- return: закрывает экранное меню.

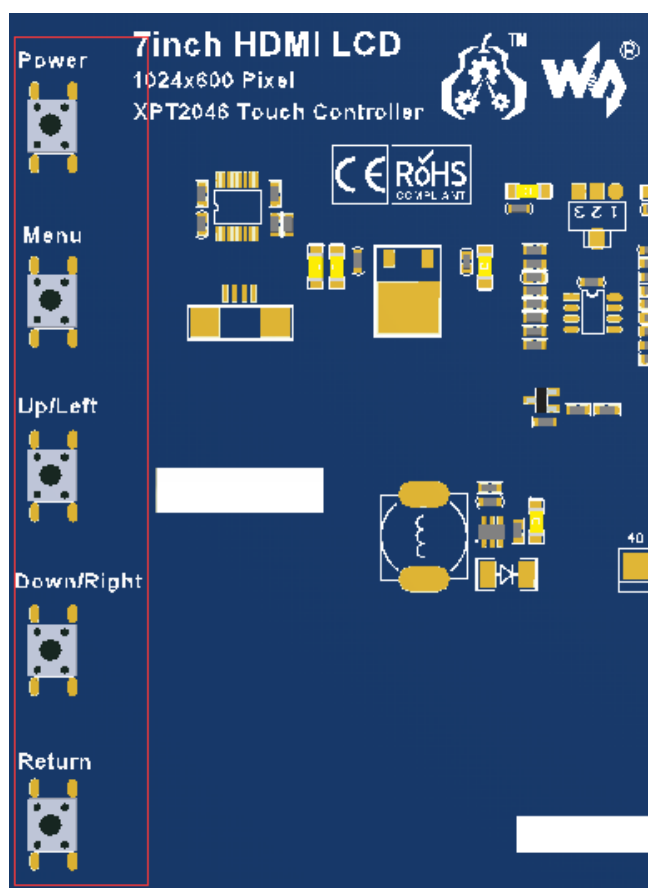


Рисунок 3.3.9 – Физические кнопки сенсорной панели

После установки и настройки необходимого ПО для работы сенсорной панели, можно настроить ориентацию экрана при помощи следующей команды [12]:

```
cd LCD-show/  
./LCD7-1024x600-show N
```

где N – градус поворота экрана.

Теперь осуществим калибровку сенсорного экрана. Сперва установим X сервер [12].

```
sudo apt-get install xserver-xorg-input-evdev  
sudo cp -fr /usr/share/X11/xorg.conf.d/10-evdev.conf  
/usr/share/X11/xorg.conf.d/45-evdev.conf  
sudo reboot
```

Для калибровки данного дисплея потребуется установить программу `xinput-calibrator`, которую можно загрузить с `Xinput-calibrator_0.7.5-1_armhf`. Извлечем и скопируем программное обеспечение `Xinput-calibrator_0.7.5-1_armhf.deb` в `Raspbian`. Установку осуществим при помощи команды [12]:

```
sudo dpkg -i -B xinput-calibrator_0.7.5-1_armhf.deb
```

Затем нажмем кнопку «Menu» и выберем «Preference / Calibrate Touchscreen». Завершим калибровку сенсоров, следуя инструкциям. Для сохранения параметров касания создадим файл `99-calibration.conf`, при помощи следующей команды [12]:

```
/etc/X11/xorg.conf.d/99-calibration.conf
```

Также, для возможности запуска разработанной программы человеко-машинного интерфейса, необходимо установить программную среду при помощи следующей команды [12]:

```
sudo apt-get install mono-complete
```

Теперь программная часть платформы настроена и готова к разработке пользовательского программного обеспечения.

3.4 Принцип работы устройства

Разработанный прототип человеко-машинного интерфейса работает следующим образом: к программируемому логическому контроллеру подключается `Raspberry Pi 3`, на которой находится программа, реализованная на языке `C#`. При запуске программы пользователь должен ввести IP и порт ПЛК, с которым в дальнейшем предполагается взаимодействие. Устройством ввода-вывода, по средствам которого осуществляется взаимодействие пользователя с ПЛК является сенсорная панель, подключенная к `Raspberry`. Передача

информации от контроллера к ПЛК происходит по протоколу Modbus. На рисунке 3.4.1 представлена структурная схема устройства.

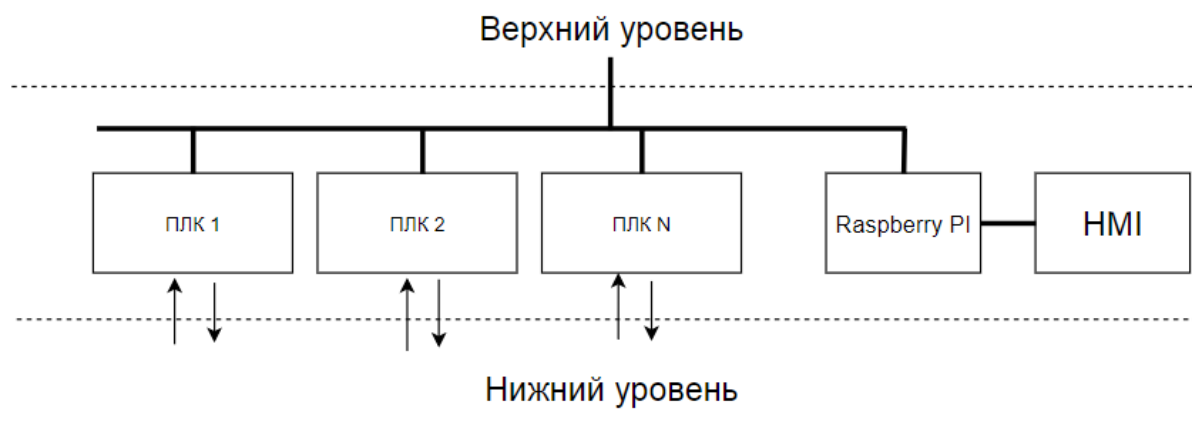


Рисунок 3.4.1 - Структурная схема ЧМИ на базе одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi

Функционал устройства имеет более подробное описание в последующих разделах данной работы.

3.5 Программная реализация функционала устройства

Следующим этапом разработки человеко-машинного интерфейса является разработка программного обеспечения. В качестве языка программирования для разработки прототипа ЧМИ был выбран C# в силу своей гибкости, типобезопасности, поддержки парадигм объектно-ориентированного программирования, а также высокого уровня платформенной переносимости, помимо прочего, данный язык программирования поддерживает библиотеки для обмена и передачи информации по протоколу Modbus [13].

Программа, разработанная для проектируемого прототипа человеко-машинного интерфейса, содержит два экрана:

- экран установки соединения с ПЛК, на котором оператором осуществляется ввод IP адреса и порта программируемого логического контроллера (рисунок 3.5.1);
- экран, на котором отображается необходимая для оператора информация (рисунок 3.5.2).

Для реализации данной программы была использована программная платформа .NET Framework в связи с возможностью данной платформы реализовывать программы, способные исполняться в различных средах, а также на различных типах устройств. Для реализации графического интерфейса пользователя при разработке человеко-машинного интерфейса был использован интерфейс программирования приложений – Windows Forms, являющийся частью .NET Framework, а также удовлетворяющий всем необходимым требованиям при разработке прототипа программы человеко-машинного интерфейса.

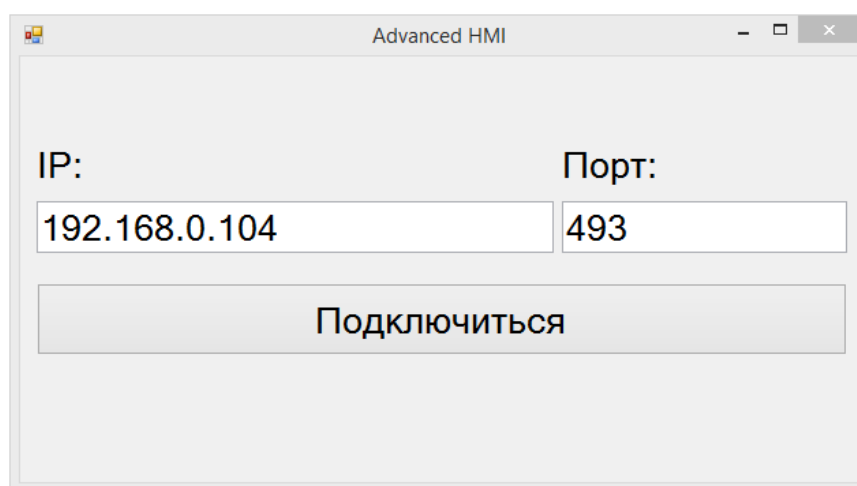


Рисунок 3.5.1 – Экран установки соединения с ПЛК

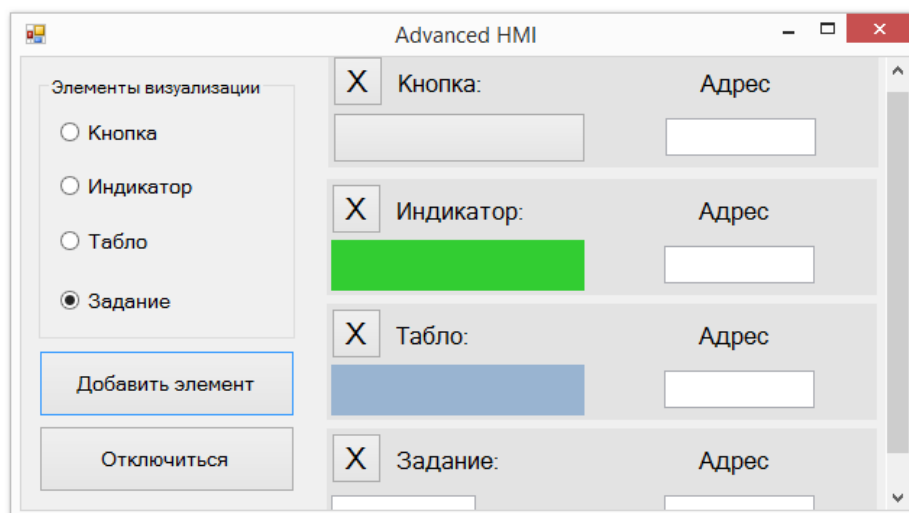


Рисунок 3.5.2 – Основной экран HMI

Разработанная программа человеко-машинного интерфейса имеет следующие функции:

- возможность установки соединения с любым программируемым логическим контроллером;
- возможность динамического добавления и удаления элементов визуализации;
- отображения параметров технологического процесса в реальном времени при помощи таких элементов визуализации, как: «Индикатор» и «Табло»;
- изменения параметров технологического процесса в реальном времени при помощи таких элементов визуализации, как: «Кнопка» и «Задание».

На рисунке 3.5.3 представлены элементы визуализации доступные в прототипе разработанной программы.

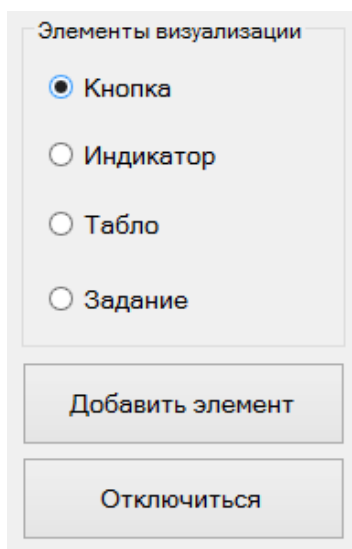


Рисунок 3.5.3 – Элементы визуализации

Каждый элемент визуализации имеет:

- кнопку удаления данного элемента с панели оператора, при этом как удаление, так и добавление каждого элемента на панель оператора происходит в реальном времени;
- поле для ввода адреса регистра, содержащего необходимую информацию, которую требуется визуализировать;
- поля для отображения необходимой информации.

Для демонстрации работы человеко-машинного интерфейса создадим тестовую программу в среде разработки CoDeSys v3.5 и запустим ее на виртуальном ПЛК, к которому будем осуществлять подключение (рис 3.5.4).

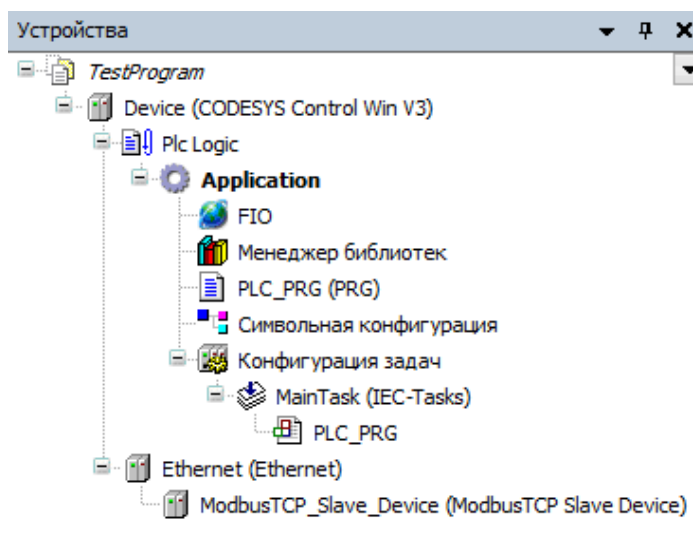


Рисунок 3.5.4 – Тестовая программа

Теперь привяжем переменные к конкретным регистрам (рисунок 3.5.5).

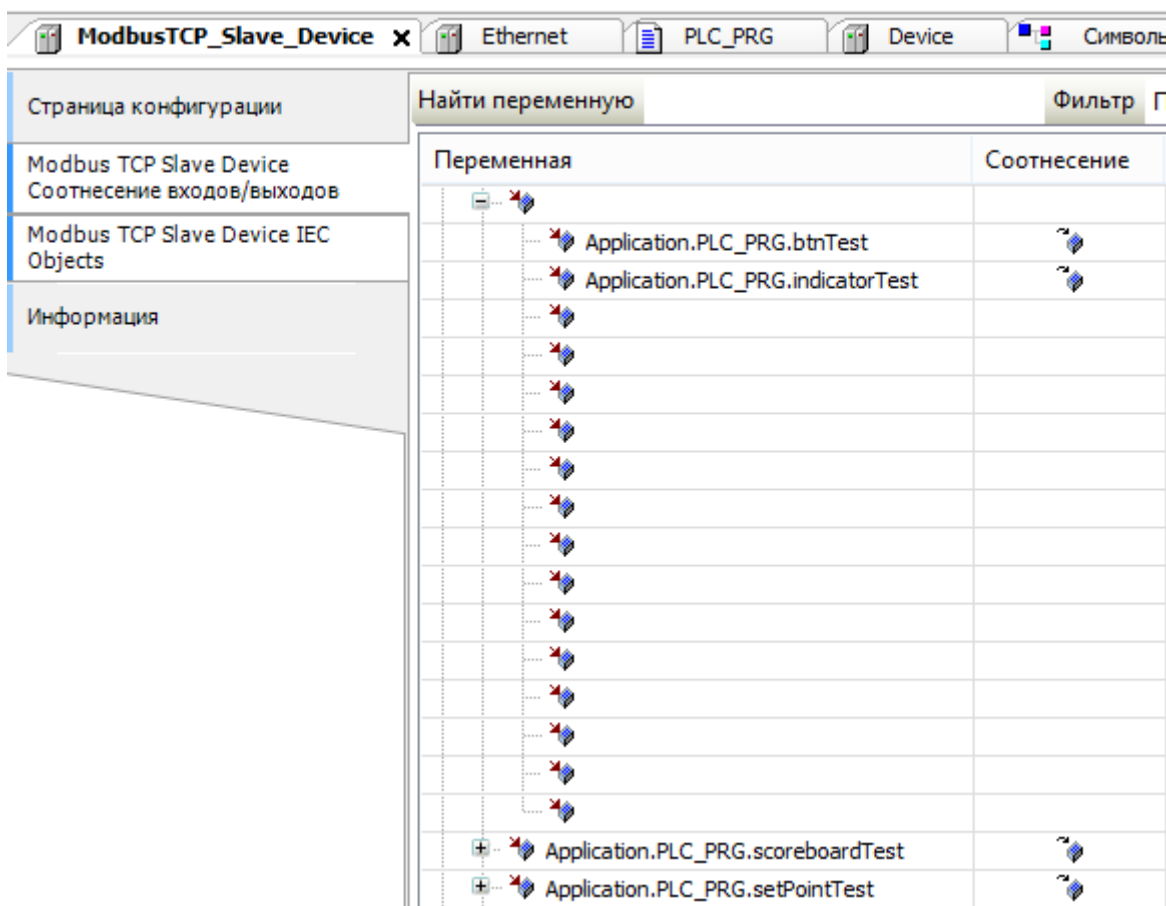


Рисунок 3.5.5 – Заполнение регистров

Запустим программу на виртуальном ПЛК, затем для эмуляции технологического процесса присвоим некоторым переменным случайные значения (рис 3.5.6).

Выражение	Тип	Значение
btnTest	BOOL	FALSE
indicatorTest	BOOL	TRUE
scoreboardTest	WORD	50
setPointTest	WORD	0

Рисунок 3.5.6 – Заполнение переменных случайными значениями

Теперь осуществим подключение к виртуальному программируемому логическому контроллеру при помощи разработанного прототипа человеко-машинного интерфейса. Добавим несколько элементов визуализации, таких как: кнопки и индикаторы, а затем зададим им адреса регистров, к которым привязаны тестовые переменные. Для проверки работоспособности программы изменим значения в регистрах путем нажатия на элементы визуализации типа «Кнопка» и отобразим происходящие изменения на элементах визуализации типа «Индикатор». На рисунке 3.5.7 представлена работа реализованной программы, а на рисунке 3.5.8 результаты взаимодействия ЧМИ с программируемым логическим контроллером.

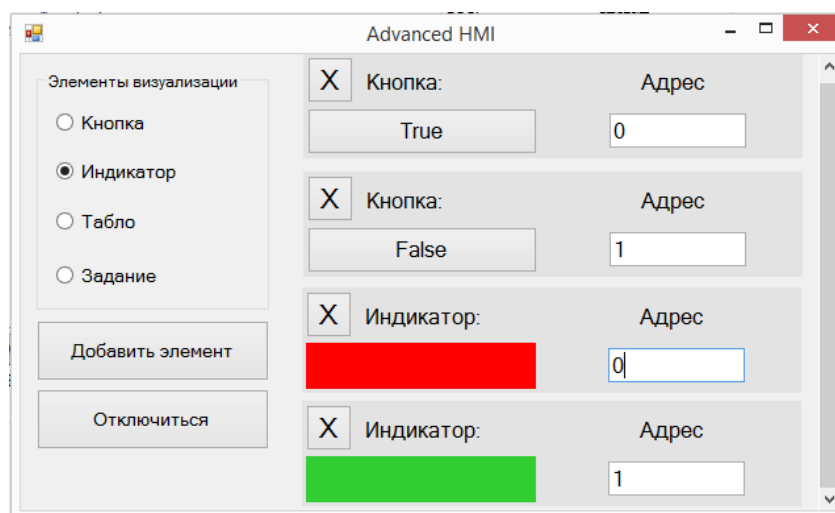


Рисунок 3.5.7 – Процесс изменения и отображения параметров технологического процесса при помощи НМИ

Device.Application.PLC_PRG		
Выражение	Тип	Значение
btnTest	BOOL	TRUE
indicatorTest	BOOL	FALSE
scoreboardTest	WORD	50
setPointTest	WORD	0

Рисунок 3.5.8 – Результаты работы HMI

Теперь протестируем работу элементов визуализации типа «Табло» и «Задание». Сперва добавим их на панель оператора, затем зададим адреса соответствующих регистров, а затем при помощи элемента «Табло» отобразим параметры моделируемого технологического процесса, а при помощи элемента «Задание» зададим новые значения для параметра моделируемого технологического процесса. На рисунках 3.5.9 – 3.5.10 представлены результаты работы программы.

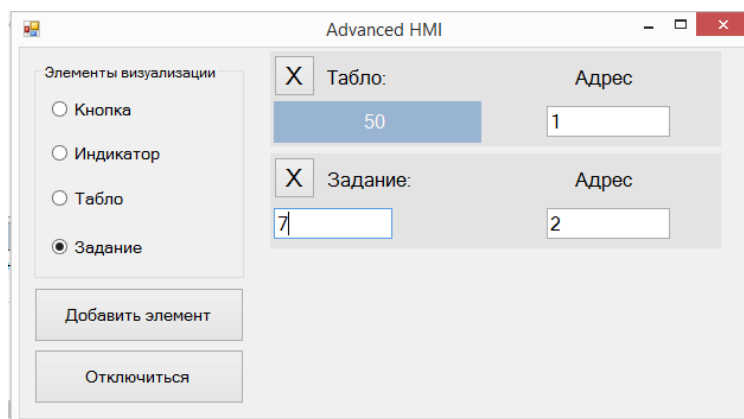


Рисунок 3.5.9 – Процесс изменения и отображения параметров технологического процесса при помощи элементов визуализации типа «Задание» и «Табло»

Device.Application.PLC_PRG		
Выражение	Тип	Значение
btnTest	BOOL	TRUE
indicatorTest	BOOL	FALSE
scoreboardTest	WORD	50
setPointTest	WORD	7

Рисунок 3.5.10 – Результаты работы разработанного ЧМИ

На рисунках 3.5.11 – 3.5.14 представлена работа разработанного прототипа человеко-машинного интерфейса.



Рисунок 3.5.11 – Процесс работы НМІ

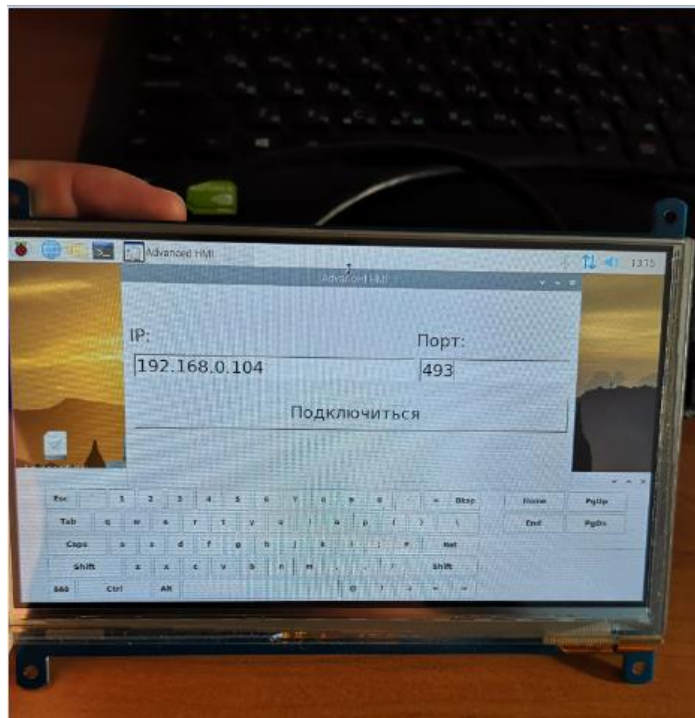


Рисунок 3.5.12 – Подключение к ПЛК при помощи разработанного НМІ

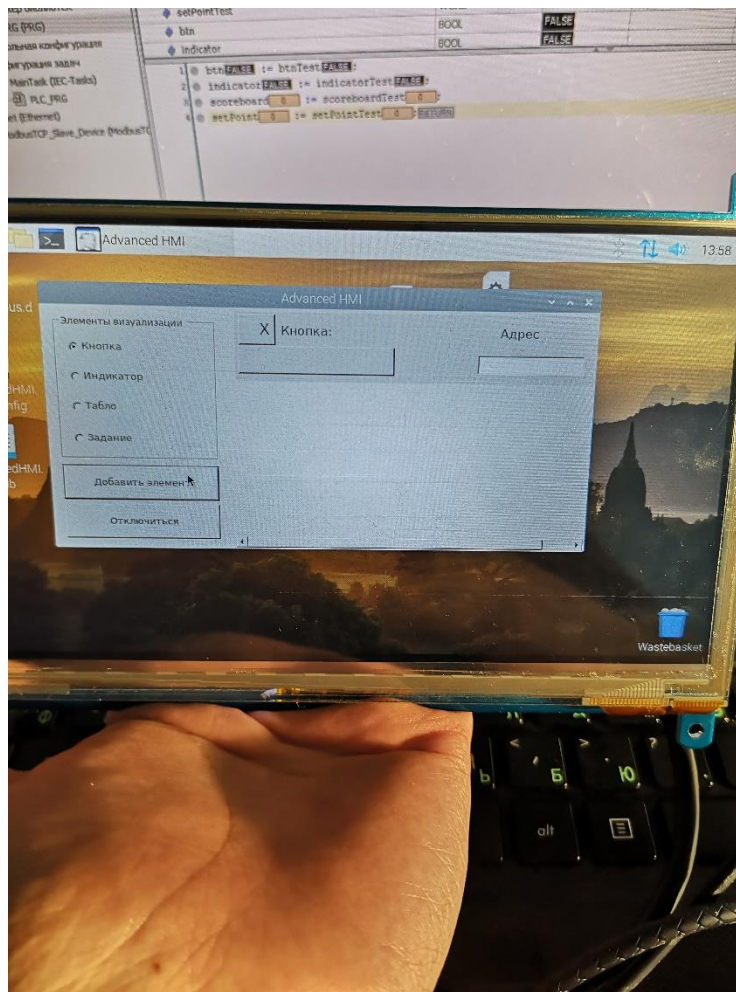


Рисунок 3.5.13 – Процесс использования человеко-машинного интерфейса

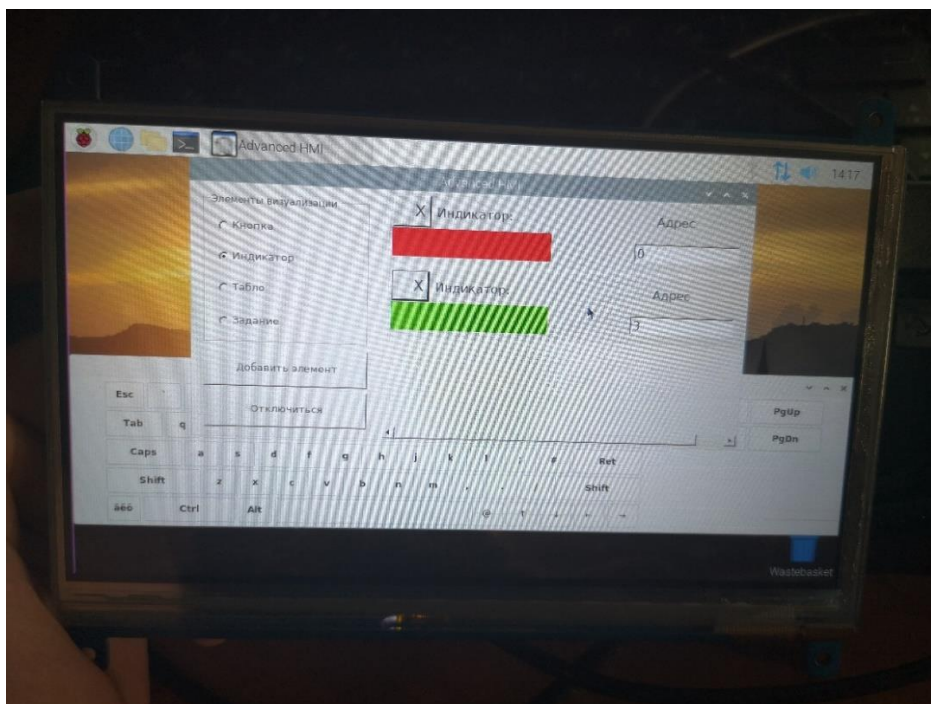


Рисунок 3.5.14 – Взаимодействие НМІ с ПЛК

Все элементы, необходимые для реализации управления технологическим процессом или отображения информации, о в ходе данных процессов, наследуются от класса `HMIElement.cs`. Все элементы визуализации имеют общую логику, связанную с удалением необходимого элемента с рабочего стола и установления связи с какой-либо переменной по средствам ввода адреса необходимого регистра. При помощи класса `ElementsController.cs` происходит управление элементами визуализации.

Одной из задач при реализации данной программы являлось отображение в реальном времени информации, хранящейся в регистрах ПЛК. Данная задача решена при помощи использования потоков и C# класса `Thread`.

```
private void txtBox_HMIElement_Adress_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    int.TryParse(txtBox_HMIElement_Adress.Text, out address);

    if (timer != null) timer.Dispose();
    timer = new System.Threading.Timer(Tick, null, 0, 100);
}

private void Tick(object obj)
{
    Invoke((Action)UpdateTimer);
}
```

Таким образом, в ходе данной работы был разработан прототип устройства человеко-машинного интерфейса, позволяющий отображать и изменять информацию на программируемом логическом контроллере при помощи сенсорной панели по средствам открытого коммуникационного протокола `ModbusTCP`.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате работы над данным устройством был осуществлен сравнительный анализ существующих решений НМІ-панелей от различных производителей, различных типов и ценовых сегментов.

Затем, был произведен выбор аппаратной платформы и сенсорной панели, на основе требующихся характеристик, а также разработано программное обеспечение, реализующее человеко-машинный интерфейс, осуществляющий прием и передачу информации с ПЛК на НМІ-панель оператора при помощи протокола ModbusTCP.

Разработанный прототип устройств, позволяющий оператору осуществлять контроль и управление оборудованием за счет взаимодействия с интуитивно-понятным и, как следствие, простым графическим интерфейсом, элементами которого являются переключатели, индикаторы и кнопки. Все элементы лишь отрисовываются на экране НМІ-панели и не существуют физически, на команды же они реагируют путем касания изображений. Данный функционал выполняет следующие функции:

1. обеспечивают быстрое действие и удобство контроля за оборудованием со стороны оператора;
2. снижает необходимость в традиционных органах управления, а следовательно - в электрических соединениях;

Из недостатков разработанного прототипа можно выделить габариты и удобство использования, вызванные отсутствием в данной версии устройства проработанного дизайна корпуса.

Одной из проблем при функционировании разработанного решения является перегрев Raspberry Pi при большой нагрузке на вычислительные мощности устройства. Одним из решений для данной проблемы будет установка в корпус устройства вентилятора, а также использование корпуса с хорошей вентиляцией. Другим вариантом решения задачи по охлаждению панели будет использование модуля Пельтье, представляющий собой электрическую

пластину, создающую тепловой дифференциал за счет использования энергии для отвода тепла от одной стороны к другой.

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

В рамках данной научно–исследовательской работы представлена разработка человеко-машинного интерфейса, дающая возможность операторам, находящимся на производстве, осуществлять управление протеканием технологического процесса, а также контроль за данным процессом. Управление и контроль осуществляются при помощи сенсорной панели, в связке с разработанным устройством и ПО, называемой НМИ-панелью или панелью оператора, которая подключается к программируемому логическому контроллеру.

Целью работы является разработка более дешевого аналога НМИ-панели для использования с программируемым логическим контроллером (ПЛК). Разработанное устройство осуществляет прием и передачу информации с ПЛК с помощью протокола Modbus TCP.

В настоящем разделе осуществлена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения данных научных исследований с точки зрения ресурсосбережения и ресурсоэффективности, а также планирование и составление бюджета научных исследований, определение ресурсосберегающей (ресурсной) и экономической целесообразности и эффективности настоящего исследования.

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для того, чтобы осуществить анализ возможных потребителей исследования, а именно: человеко-машинного интерфейса, необходимо рассмотреть целевой рынок и осуществить процедуру его сегментирования.

Так как объектом разработки является портативное устройства, представляющее собой человеко-машинный интерфейс, направленный на обеспечение контроля и управления технического персонала

технологическим процессом при помощи сенсорной панели, группу потребителей могут составить производства, уже имеющие автоматизированные системы управления, но при этом нуждающиеся в устройстве способном осуществлять удаленный контроль и управление данной системой. В таблице 5.1.1 приведена карта сегментирования.

Таблица 5.1.1 – Карта сегментирования

		Размер автоматизированной системы (по мощности)			
		Малой	Средней	Повышенной	Высокой
Размер компании	Мелкие				
	Средние				
	Крупные				

Таким образом, согласно карте сегментирования, для реализации разработанного устройства человеко-машинного интерфейса на рынке подходят следующие сегменты: небольшие и средние компании с автоматизированными системами малой и средней мощности. Для данных компаний важную роль играет цена предлагаемого решение и при этом не так важно наличие огромного функционала, учитывающего работу автоматизированных систем высокой мощности.

5.2 Анализ конкурентных технических решений

В силу постоянного движения рынка, необходимо осуществлять систематический детальный анализ разработок конкурентов, которые существуют на рынке. Данный анализ позволяет своевременно вносить коррективы в научное исследование и находясь в рынке и успешно конкурировать с другими игроками. Важным фактором является реалистичная оценка как сильных, так и слабых сторон своей разработки и решений конкурентов.

Среди производителей рассматриваемой системы можно выделить следующих: «Агава» (конкурент 1) и «2N» (конкурент 2). В таблице 5.2.1 приведен осуществлен анализ конкурентных технических решений.

Компания «2N» является одной из ведущих европейских компаний, специализирующейся на разработке и производстве в области автоматизации [14]. Одним из продуктов данной компании является ЧМИ на базе сенсорной панели. Компания «Агава» является отечественной компанией по производству оборудования для автоматизации, в том числе операторских панелей для контроля и управления технологическим процессом [15].

Таблица 5.2.1 – Сравнительный анализ конкурентных решений рынка сенсорных панелей с человеко-машинным интерфейсом (оценочная карта)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Энергопотребление	0.1	5	4	3	0.5	0.4	0.3
Удобство эксплуатации	0.1	2	5	4	0.2	0.5	0.4
Универсальность	0.1	4	3	2	0.4	0.3	0.2
Поддержка ModbusTCP	0.1	5	0	0	0.5	0	0
Надежность	0.25	3	4	5	0.75	1	1.25
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность	0.05	4	3	3	0.2	0.15	0.15
Ожидаемый срок эксплуатации	0.05	4	5	5	0.2	0.25	0.25
Цена	0.1	5	3	1	0.5	0.3	0.1
Сервисное обслуживание	0.1	4	5	5	0.4	0.5	0.5
Доступность	0.05	3	5	5	0.15	0.25	0.25
Итого	1	39	37	33	3.8	3.65	3.4

Слабыми сторонами разрабатываемого устройства панели оператора можно считать:

- удобство эксплуатации;
- габариты;
- урезанный функционал в разработанном прототипе устройства.

Несмотря на описанные выше факты, разработка является конкурентоспособной по остальным техническим критериям. Из сильных сторон можно выделить:

- конкурентоспособная цена;
- модульность;
- масштабируемость;
- дешевизна компонентов;
- небольшой вес.

Для оценки экономической эффективности настоящей разработки были выбраны следующие экономические критерии: предполагаемый срок использования и эксплуатации, цена, сервисное обслуживание и доступность. Опираясь на результаты, полученный в ходе данного анализа и представленные в таблице 5.2.1, можно сделать вывод о том, что конкурентоспособность научной разработки выше, чем у конкурентов. Продукты компаний–конкурентов выигрывают в уровни унификации, но при этом все решения проигрывают разработанному решению по цене.

5.3 SWOT-анализ

В ходе исследования внешней и внутренней среды разрабатываемого решения человеко-машинного интерфейса был осуществлен комплексный анализ данного научно–исследовательского проекта, а именно SWOT–анализ. В таблице 5.3.1 представлена итоговая матрица SWOT–анализа проекта по

разработки решения НМИ-панели, полученная как результат реализации всех этапов исследования.

Таблица 5.3.1 – Итоговая матрица SWOT–анализа

	Сильные стороны НТИ: С1. Низкая стоимость аппаратной платформы и других комплектующих. С2. Простота поддержки и обслуживания.	Слабые стороны НТИ: Сл1. Небольшой функционал в сравнении с аналогами Сл2. Отсутствие возможности крупномасштабного производства.
Возможности: В1. Расширение функциональных возможностей изобретения. В2. Увеличение спроса у небольших производств.	В2С1. За счет низкой стоимости устройства, оно будет востребовано у компаний с АСУ малой мощности. В2С2. Простота обслуживания позволит сократить издержки на обучение персонала, чем привлечет новых клиентов.	В1В2Сл1. Работа по доработке функциональных возможностей устройства позволит увеличить количество клиентов. В2Сл2. За счет притока новых клиентов можно наладить крупномасштабное производство.
Угрозы: У1. Отсутствие финансирования. У2. Появление на рынке наиболее совершенных устройств от конкурентов.	У1С1. В связи с дешевизной компонентов можно уже сейчас выпускать первые версии продукта.	У1Сл2. Привлечение инвестирования позволит наладить производство. У2Сл1. Расширение функционала позволит сохранить лидерство на рынке.

Таким образом, при использовании сильных сторон проекта существует перспектива реализации выявленных возможностей. Все возможности для развития проекта могут быть использованы за счет использования низкой стоимости на разработку и эксплуатацию, при этом наличие слабых сторон и угроз могут быть фактором снижения конкурентоспособности продукта.

5.4 Планирование реализации проекта в рамках НТИ

5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Ключевым фактором успешного завершения проекта является грамотное планирование предстоящих работ, осуществляемых в следующем порядке:

- определение структуры предстоящих работ в ходе НТИ;
- определение участников каждого вида работы;
- установление временных рамок и продолжительности всех работ;
- построение графика реализации НТИ.

Для реализации проектной работы по разработке человеко-машинного интерфейса необходимо сформировать рабочую группу, в которую входят руководитель и инженер (бакалавр). В таблице 5.4.1.1 представлен перечень этапов, работ, а также распределение исполнителей.

Таблица 5.4.1.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Исполнитель (исполнитель)
Разработка ТЗ	1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель
Исследования (теоретические)	2	Изучение необходимой литературы	Инженер
	3	Изучение аналогов устройства	Инженер
	4	Календарное планирование	Руководитель, инженер

Продолжение Таблицы 5.4.1.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Исполнитель (исполнитель)
Исследования (теоретические)	5	Подбор компонентов для реализации устройства	Инженер
	6	Покупка компонентов	Инженер
Проведение ОКР			
Проектирование системы и ее разработка	7	Сборка и настройка аппаратной части устройства	Инженер
	8	Написание программной части	Инженер
	9	Тестирование и отладка человеко-машинного интерфейса	Руководитель, инженер
	10	Доработка НМИ-панели	Инженер
Обобщение и оценка результатов	11	Анализ полученный результатов	Руководитель
Подготовка отчета по НИР	12	Написание пояснительной записки	Инженер

Таким образом, для реализации данного проекта по разработке прототипа панели оператора необходимо реализовать 12 этапов, в которых задействованы как руководитель, так и инженер.

5.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Вследствие отсутствия нормативной базы по осуществляемым работам, а также достоверной информации о процессе и ходе выполнения подобных работ другими исполнителями, воспользуемся экспертным способом оценки продолжительности выполнения запланированных работ.

Воспользуемся формулой 5.4.2.1 для оценки минимального и максимального времени выполнения каждого из этапов [16].

$$t_{ождi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (5.4.2.1)$$

где $t_{ождi}$ – ожидаемое время выполнения i -го этапа работ в человеко-днях;
 t_{\min} – минимальная продолжительность работы, дней;
 t_{\max} – максимальная продолжительность работы, дней.

Определим продолжительность каждой работы в рабочих днях T_{pi} , исходя из ожидаемой трудоемкости работы, в которой учитывается параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ождi}}{C_i}, \quad (5.4.2.2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочих дней;
 $t_{ождi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дней;
 C_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работы на данном этапе, чел.

Представим в виде диаграммы Ганта график, переведя длительность всех этапов работ в календарные дни, так как при осуществлении данного перевода, гораздо удобнее строить график. Для осуществления данного перевода, воспользуемся формулой 5.4.2.2

$$T_{календi} = T_{pi} \cdot k_{календ.}, \quad (5.4.2.3)$$

где $T_{календi}$ – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -ой работы в рабочих днях;
 $k_{календ.}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле 5.4.2.3

$$k_{календ.} = \frac{T_{календ.}}{T_{календ.} - T_{нераб.}} = \frac{366}{366 - 118} = 1.47, \quad (5.4.2.4)$$

где $T_{календ.}$ – количество календарных дней в году;

$T_{нераб.}$ – количество не рабочих дней в году;

Полученные данные представим в виде таблицы 5.4.2.1.

Таблица 5.4.2.1 – Временные метрики реализации НТИ

Название работы	Трудоёмкость работы						Длит. работы в рабочих днях T_{pi}		Длит. работы в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел. - дн.		t_{max} , чел. - дн.		$t_{ож}$, чел. - дн.		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер				
Составление и утверждение ТЗ	2	2	4	4	2.8	2.8	1.4	1.4	2.058	2.06
Изучение необходимой литературы		8		10	0	8.8	0	8.8	0	12.9
Изучение аналогов устройства		5		8	0	6.2	0	6.2	0	9.11
Календарное планирование	1	1	2	2	1.4	1.4	0.7	0.7	1.029	1.03
Подбор компонентов для реализации устройства		3		5	0	3.8	0	3.8	0	5.59
Покупка компонентов		1		2	0	1.4	0	1.4	0	2.06
Сборка и настройка аппаратной части устройства		7		10	0	8.2	0	8.2	0	12.1
Написание программной части		3		5	0	3.8	0	3.8	0	5.59
Тестирование и отладка человеко-машинного интерфейса	3	3	5	5	3.8	3.8	1.9	1.9	2.793	2.79
Доработка НМИ-панели		2		3	0	2.4	0	2.4	0	3.53
Анализ полученных результатов		1		3	0	1.8	0	1.8	0	2.65
Написание пояснительной записки		10		15	0	12	0	12	0	17.6
Итого:							4	52.4	5.88	77

Базируясь на данных, представленных в таблице 5.4.2.1 построим календарный план–график, представленный в таблице 5.4.2.2. Для начала разобьем работы, а точнее ход их выполнения, на месяцы и декады, а затем построим график для максимальной длительности реализации работ в рамках разработки прототипа человеко-машинного интерфейса.

Таблица 5.4.2.2 – Календарный план–график выполнения проекта

№ работ	Виды работ	Исполнители		Продолжительность выполнения работ													
				февр.			март			апр.			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель Инженер	2.058 2.06	█													
2	Изучение необходимой литературы	Инженер	12.9	█	█	█											
3	Изучение аналогов устройства	Инженер	9.11			█	█										
4	Календарное планирование	Руководитель Инженер	1.029 1.03				█										
5	Подбор компонентов для реализации устройства	Инженер	5.59				█	█									
6	Покупка компонентов		2.06					█									
7	Сборка и настройка аппаратной части устройства	Инженер	12.1					█	█								
8	Написание программной части	Инженер	5.59							█							
9	Тестирование и отладка человеко-машинного интерфейса	Руководитель Инженер	2.793 2.79								█						
10	Доработка НМІ-панели	Инженер	3.53								█						
11	Анализ полученных результатов	Инженер	2.65									█					
12	Написание пояснительной записки	Инженер	17.6										█	█	█	█	█

Таким образом, в рамках определения трудоемкости выполненных работы, был осуществлен расчет необходимых показателей и составлен план-график, при следовании которому реализация данной научно-исследовательской работы будет выполнена в срок.

5.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

5.5.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Для успешного завершения разработки проекта необходимо учесть все материальные затраты, которые могут возникнуть по ходу реализации научно-исследовательской работы. Расчет данных затрат осуществляется по формуле 5.5.1.1.

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m P_i \cdot N_{расход\ i}, \quad (5.5.1.1)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, используемых при осуществлении НТИ;

$N_{расход\ i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при осуществлении НТИ;

P_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Данные о материальных затратах, возникающих в ходе реализации прототипа человеко-машинного интерфейса, представлены в таблице 5.5.1.1

Таблица 5.5.1.1 – Материальные затраты

Наименование	Кол-во, шт.	Цена за ед., руб.	Затраты, руб
Raspberry Pi 3	1	3375	3375
Waveshare 7.0 LCD HDMI	1	3750	3750
HDMI кабель	1	450	450
USB кабель	1	250	250

Продолжение таблицы 5.5.1.1 – Материальные затраты

Наименование	Кол-во, шт.	Цена за ед., руб.	Затраты, руб
SD-карта, 8Гб	1	300	300
Корпус пластиковый	1	400	400
Всего за материалы:			8525
Транспортно-заготовительные расходы (3%):			256
Итого:			8781

Таким образом, общие материальные затраты на реализацию прототипа НМИ-панели составят 8781 рубль.

5.5.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате рассчитывается на основе трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В структуру основной заработной платы входит премии, которая выплачивается ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30% от тарифа или оклада.

Расчет основной заработной платы исполнителей, задействованных в разработке данного проекта и дополнительной заработной платы выполняется по формуле 5.5.2.1.

$$Z_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (5.5.2.1)$$

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

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

Основная заработная плата сотрудников рассчитывается по формуле 5.5.2.2.

$$Z_{осн} = Z_{дн.} + T_p \quad (5.5.2.2)$$

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

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, рабочих дней;

Среднедневная зарплата рассчитывается по формуле 5.5.2.3.

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (5.5.2.3)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 рабочих дней $M = 10,4$ месяца, шестидневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней.

В таблице 5.5.2.1 представлен баланс рабочего времени.

Таблица 5.5.2.1 – Баланс рабочего времени [17]

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Выходные и праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени (невыходы по болезни / отпуск)	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	248	248

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле 5.5.2.3.

$$Z_m = Z_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} \quad (5.5.2.3)$$

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

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

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

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

В таблице 5.5.2.2 представлен расчет основной платы.

Таблица 5.5.2.2 – Расчет основной заработной платы.

Исполнитель	Оклад	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	34675	-	-	1,	45077,5	1 890,3	4	7 561,39
Инженер	13045	-	-	3	16958,5	711,2	52,4	37264,94
Итого								44826,33

Таким образом, основная заработная плата руководителя составит 7561,39 рублей, а инженера – 37264,94 рублей.

5.5.3 Дополнительная заработная плата исполнителей НИИ

В ходе реализации научно–исследовательской работы, также, необходимо учесть дополнительную заработную плату исполнителей темы, расчет которой осуществляется по формуле 5.5.3.1 [18].

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (5.5.3.1)$$

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

Получим:

$$Z_{\text{допР}} = 0,12 \cdot 7561,39 = 907,37;$$

$$Z_{\text{допИ}} = 0,12 \cdot 37264,94 = 4471,79.$$

Таким образом, дополнительная заработная плата руководителя составляет 907,37 рублей, а инженера – 4471,79 рублей.

5.5.4 Отчисление во внебюджетные фонды

Немаловажным этапом, требующим детального рассмотрения, является расчет величины отчислений во внебюджетные фонды, определяющиеся исходя из формулы 5.5.4.1 [18].

$$Z_{\text{внебюдж.}} = k_{\text{внебюдж.}} \cdot (Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}}), \quad (5.5.4.1)$$

где $k_{\text{внебюдж.}}$ – коэффициент отчислений на уплату в внебюджетные фонды.

В таблице 5.5.4.1 представлен расчет данных отчислений.

Исполнитель	Основная ЗП, руб.	Доп. ЗП, руб.	Коэффициент отчислений	Отчисления
Руководитель	7 561,39	907,37	0,302	2 557,57
Инженер	37 264,94	4471,79		12 604,49
Итого:				15 162,06

Таким образом, общие отчисления во внебюджетные фонды составят 15162,06 рублей.

5.5.5 Прочие прямые затраты

Помимо прочего, необходимо учесть прочие прямые затраты, возникающие по ходу выполнения научно–исследовательской работы. К данному виду затрат относятся затраты на электроэнергию. Для юридических лиц стоимость 1 кВт · ч составляет 5,8 рублей. При умеренном использовании персонального компьютера средняя мощность потребления составит 120 Вт в час, а суммарное потребление всего используемого оборудования составит 160 Вт в час. В день на работу затрачивается 6 часов, а всего на работу с ПК и оборудованием затрагивается 50 дней. Для расчета затрат необходимо перемножить все описанные выше данные. Таким образом, затраты на электроэнергию составят 278,4 рублей.

5.5.6 Накладные расходы

Также, необходимо учитывать накладные расходы, возникающие при разработке данного проекта. Накладные расходы учитывают прочие затраты. Их величина рассчитывается по формуле 5.5.6.1 [18].

$$C_{\text{наклад.}} = k_{\text{наклад.}} \cdot (Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}}), \quad (5.5.6.1)$$

где $k_{наклад.}$ – коэффициент накладных расходов, 16%

Найдем накладные расходы, подставив необходимые значения в формулу 5.5.6.1. Таким образом, накладные расходы, возникающие по ходу реализации человеко-машинного интерфейса составят 8032,88 рублей.

5.5.7 Формирование бюджета затрат на реализацию НТИ

Величина затрат на реализацию НМИ-панели, рассчитанная в рамках данного раздела, является основой для формирования бюджет затрат данного проекта, являющегося нижнем пределом затрат на разработку прототипа человеко-машинного интерфейса. В таблице 5.5.7.1 представлено определение бюджета затрат данного проекта.

Таблица 5.5.7.1 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб
Материальные затраты	8781
Затраты по основной заработной плате	44826
Затраты по дополнительной заработной плате	5379
Отчисления во внебюджетные фонды	15162
Прочие расходы	278
Накладные расходы	8033
Бюджет затрат НТИ	82459

Таким образом, общий бюджет затрат на разработку прототипа человеко-машинного интерфейса на базе одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi составит 82459 рубля.

5.6 Определение ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Следующим этапом в ходе анализа экономической эффективности реализации проекта человеко-машинного интерфейса является определение финансовой эффективности, а также ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель находится по формуле 5.6.1 [18].

$$I_{финр}^{испi} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (5.6.1)$$

где I – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно–исследовательского проекта.

$$I_{финр}^{исп1} = \frac{80903}{80000} = 1,01$$

$$I_{финр}^{исп2} = \frac{80903}{80903} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения прототипа сенсорной панели оператора можно определить по формуле 5.6.2 [18].

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (5.6.2)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го вариант исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки. В таблице 5.6.1 представлен расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

Таблица 5.6.1 – Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии	Весовой коэффициент	И1	И2
Энергопотребление	0.05	3	5
Удобство эксплуатации	0.15	4	3
Универсальность	0.15	4	5
Поддержка ModbusTCP	0.2	3	5
Надежность	0.45	5	4
Итого:	1	21	22

По формуле 5.6.3 [18] определяется интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки, основанный на показатели интегрального финансового показателя и показателя ресурсоэффективности.

$$I_{ucn1} = \frac{I_{p-ucn1}}{I_{фин p}} \quad (5.6.3)$$

Сравнительная эффективность проекта, рассчитываемая по формуле 5.6.4, позволяет определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

$$Эср = \frac{I_{ucn1}}{I_{ucn2}} \quad (5.6.4)$$

Результаты расчета показателей представлены в таблице 5.6.2.

Таблица 5.6.2 – Сравнительная эффективность разработок

Показатель	Исп.1	Исп.2
Интегральный фин. показатель	1,01	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,2	4,25
Интегральный показатель эффективности	4,16	4,25
Сравнительная эффективность представленных вариантов	1,01	

Таким образом, наиболее эффективным является первый вариант исполнения. Данный вывод сделан на основе полученных данных при сравнении ресурсной и финансовой эффективности различных вариантов исполнения.

Вывод по разделу

1. В ходе анализа коммерческого потенциала разработки, а также оценки НТИ с точки зрения ресурсосбережения и ресурсоэффективности были выявлены потенциальные потребители результатов данного исследования, которыми являются небольшие компании, имеющие на производстве автоматизированные системы малой и средней мощности.

2. В рамках анализа конкурентных технических решений было выявлено, что предлагаемое решение практически не уступает конкурентам по функциональным возможностям, но при этом имеет более конкурентоспособную цену и низкие издержки при эксплуатации данного устройства.

3. В ходе анализа по методу SWOT, а именно сильных и слабых сторон, а также возможностей и угроз, было выявлено, что ключевым преимуществом разрабатываемой системы является низкая стоимость разработки и последующей эксплуатации.

4. При планировании научно-технического исследования разработан поэтапный план работ в рамках проектирования научного исследования, а также распределены роли исполнителей.

5. Основными расходами на разработку составляют затраты в ФОТ. При определении трудоемкости осуществления НИИ и разработке календарного плана было установлено 52.4 рабочих дня и 77 календарных дней.

6. В ходе планирования бюджета НИИ было установлено, что все затраты на разработку данного технического решения составят 82459 рубля, из них 8781 рубль – материальные затраты, 50205 рублей – затраты на заработную плату исполнителям, а именно: руководителю и инженеру, 15162 рублей – отчисления во внебюджетные фонды, 8311 рублей – накладные и прочие расходы.

7. В рамках определения ресурсоэффективной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования было рассмотрено два варианта исполнения человеко-машинного интерфейса и на основе нескольких финансовых показателей, было установлено, что наиболее эффективным является первый вариант исполнения.

Таким образом, в ходе финансового анализа научно-технического исследования были выявлены сильные и слабые стороны разработки, потенциальные рынки сбыта и конкуренты данного устройства, а также посчитаны материальные и временные затраты, необходимые для реализации данного проекта.

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В настоящем разделе указаны основные опасные и вредные факторы рабочей зоны, а также их анализ и способы защиты от них. Помимо этого, затронуты аспекты защиты от чрезвычайных ситуаций, охраны окружающей среды, а также вопросы обеспечения безопасности в рамках организационных и правовых норм. Научно-исследовательская работа проводится в 025 аудитории 10 корпуса НИ ТПУ в лаборатории основ автоматике.

В данной ВКР представлена разработка человеко-машинного интерфейса, предоставляющая возможность техническому персоналу осуществлять контроль и управление технологическим процессом при помощи сенсорной панели, подключенной к программируемому логическому контроллеру. Аппаратная часть устройства состоит из одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi 3 и сенсорного дисплея диагональю 7 дюйма. Данное устройство подключается к программируемому логическому контроллеру, с которым будет взаимодействовать устройство.

Потенциальными пользователями разрабатываемого решения являются промышленные предприятия, имеющие автоматизированные системы малой и средней мощности. Панель оператора является универсальным средством создания человеко-машинного интерфейса в различных системах автоматизации и играет значимую роль в управлении и контроле протекающих технологических процессов на производстве.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Время продолжительности рабочего времени не должно превышать сорока часов в неделю, а в течение рабочего дня работодатель обязуется предоставить работникам перерыв для того, чтобы могли отдохнуть и пообедать, данные

правила регламентированы в статьях 91 и 108 ТК РФ [19]. В зависимости от работодателя предоставляемое работнику время для отдыха и питания лежит во временном промежутке от тридцати минут до двух часов. В рамках ГОСТ 12.2.032-78 [20] и ГОСТ 12.2.061-81 [21] предъявляются требования к организации рабочих мест, а именно: рабочее место должно быть организовано с учетом требований по эргономике. В статье 212 ТК РФ [19] отражены требования по обеспечению безопасных условий и охраны труда, которые обязуется выполнять работодатель.

6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

В ходе организации рабочего пространства необходимо принимать во внимание требования к безопасности и промышленной санитарии, эргономики, а также технической эстетики, так как игнорирование описанных требований может привести к получению работником производственной травмы или развитию у него профессионального заболевания.

Правильное положение рук и поза технического персонала является весьма важным для исключения нарушений в опорно-двигательном аппарате и приобретении синдрома постоянных нагрузок.

Работа с экраном при некорректной настройке уровня яркости, а также освещенности дисплея, контрастности различных знаков, цветов данных знаков и фона, при наличии бликов на используемом дисплее может привести к зрительному утомлению и, как следствие, к ухудшению зрения, помимо прочего возможно появление головных болей, а также физиологической и психической нагрузке.

Согласно СанПиНу 2.2.2/2.4.1340-03 [22] при восьмичасовой рабочей смене на ВДТ и ПЭВМ перерывы в работе должны находиться в диапазоне от десяти до двадцати минут каждые два часа выполнения работы.

6.2 Профессиональная социальная безопасность

6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Вредные, а также опасные факторы, рассматриваемые в стандарте ГОСТ 12.0.003-2015 [23], подразделяются на физические, химические, биологические и психофизиологические группы.

Таблица 6.2.1.1 – Вредные и опасные факторы при выполнении работ по разработке ЧМИ на базе одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi 3.

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ)	Этапы работ			Нормативные документы
	Сборка аппаратной части	Разработка программной части	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	1. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [24].
2. Повышенный уровень шума			+	2. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [25].
3. Недостаток естественного освещения и недостаточная освещённость рабочей зоны	+	+	+	3. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [26].
4. Электромагнитные излучения	+	+	+	4. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности [27].
5. Электрический ток	+		+	5. СП 60.13330.2016 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. [28] 6. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. [29]

Представленные в факторы могут влиять на состояние здоровья и привести к травмоопасной или аварийной ситуации, следовательно, необходимо реализовать меры по эффективному контролю за соблюдением норм и требований, предъявленных к их параметрам.

6.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действий опасных и вредных факторов

Основными вредными и опасными факторами, оказывающими влияние на исследователя, в ходе его работы являются:

- отклонение показателей микроклимата;
- превышение уровня шума;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- электромагнитные излучения.

Виды работ, осуществляемые при разработке и эксплуатации портативного устройства человеко-машинного интерфейса по степени физической тяжести можно отнести к категории легких работ. Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах для технического персонала приведены в таблице 6.2.2.1.

Таблица 6.2.2.1 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха м/с
Теплый	(23-25)	(22-26)	(40-60)	0,1
Холодный	(21-23)	(20-24)	(40-60)	0,1

Еще одним вредным фактором является шум, превышение уровня которого способно привести к нарушениям слуха. Помимо этого, шум может являться источником стресса, а также способен привести к несчастным случаям, маскируя предупреждающие сигналы и мешая сконцентрироваться.

Согласно СанПиН 2.23.2/2.4.1340-03 [22], в производственных помещениях при выполнении основных и вспомогательных работ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, которые установлены для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами.

Снизить уровень шума возможно при помощи использования звукопоглощающих материалов, а также использования занавесок из плотной ткани, создающих дополнительный звукопоглощающий эффект.

При разработке человеко-машинного интерфейса недостаток освещения может быть особенно ощутим при работе с персональным компьютером, во время написания ПО для разрабатываемого устройства, а также при непосредственной сборке данного устройства. В таблице 6.2.2.2 представлены требования к освещению на рабочих местах.

Таблица 6.2.2.2 – Требования к освещенности на рабочих местах

Освещенность на рабочем столе	(300 - 500) лк
Освещенность на экране ПК	не выше 300 лк
Блики на экране	не выше 40 кд / м ²
Прямая блескость источника света	
Показатель ослепленности	не более 20
Показатель дискомфорта	не более 15
Отношение яркости:	
- между рабочими поверхностями	3:1 - 5:1
- между поверхностями стен и оборудования	10:01
Коэффициент пульсации	не более 5%

В случае недостаточного уровня освещенности можно предложить к исполнению такие мероприятия, как: введение дополнительных источников искусственного света, организация помещений для отдыха, а также сокращения рабочего дня.

Еще одним вредным фактором производства являются электромагнитные излучения (ЭМИ), защита персонала от воздействия которых осуществляется путем проведения организационных и инженерно-технических мероприятий, а также использования средств индивидуальной защиты. Помимо этого, требуется правильное, рациональное расположение всего оборудования, использования доступных средств и методов, которые ограничивают поступление электромагнитной энергии на рабочие места персонала.

6.3 Экологическая безопасность

6.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

В результате осуществления научно-технического исследования был разработан прототип человеко-машинного интерфейса, в основу которого входит одноплатный микрокомпьютер Raspberry Pi 3. Рассмотрим влияние данного микроЭВМ на окружающую среду.

Масштабирование и увеличение мощностей производства находится в прямой зависимости от состояния энергетики, развитие которой оказывает значительное влияние на природную среду, неся ответственность за различные виды загрязнений воздуха, воды, литосферы, а также являясь мажоритарным потребителем энергетических ресурсов, который определяют уровень их добычи.

6.3.2 Анализ влияния процесса эксплуатации объекта на окружающую среду

Одноплатные микроЭВМ Raspberry Pi 3 спроектированы для использования в стационарных, а также защищенных от внешних возмущений условиях.

МикроЭВМ Raspberry Pi 3, а также их составляющие (комплектующие), соответствующие требованиям следующих стандартов:

- ГОСТ 51318.24-99;
- ГОСТ Р 51317.3.2-99;
- ГОСТ 26329-84 п. п. 1.2; 1.3;
- ГОСТ Р МЭК 60950-2002;
- ГОСТ Р 51319.22-99;
- ГОСТ Р 51317.3.3-99.

Главным фактором влияния на окружающую среду является образование и поступление твердых отходов в виде использованных персональных компьютеров, а также их составляющих, в которых содержится большое количество вредных веществ.

6.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Снижение уровня загрязнения можно осуществить путем усовершенствования оборудования, которое производит электроэнергию, применяя более экономичные и результативные технологии, а также использования новейших методов получения электроэнергии. Помимо прочего, необходимо осуществить внедрения современных методов обезвреживания и способов очистки отходов производства.

Одноплатные микро ЭВМ «Raspberry Pi», могут быть утилизированы, так как не содержат токсичных материалов. Для безопасной утилизации с точки зрения окружающей среды, а также удаления устаревших устройств необходимо обратиться к компании фирмы Raspberry, которая имеет необходимые сертификаты для утилизации и удаления лома электронного оборудования.

В настоящее время в большинстве компьютеров используются режимы, понижающие потребление электроэнергии при длительном простое.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

На исследуемом объекте возможны следующие ЧС:

- пожар;
- короткое замыкание.

Наиболее типичной ЧС для данного объекта является короткое замыкание в связи с тем, что данная система является портативным электронным устройством, которое работает от постоянного напряжения.

В качестве превентивных мер от ЧС на объекте выступают следующие меры:

- защитное заземление;
- изоляция контактов;
- систематическая диагностика целостности контактов, а также дорожек на плате.

В качестве повышения устойчивости объекта к рассматриваемой ЧС используется внешний стабилизатор напряжения. В случае возникновения на объекте ЧС будут реализованы следующие действия: немедленное аварийное отключение устройства, а также обесточивание всей лаборатории во избежание короткого замыкания.

6.4.2 Анализ причин, которые могут вызвать ЧС на производстве при внедрении объекта исследований

В помещении существует вероятность пожара вследствие причин электрического и неэлектрического толка.

К причинам электрического характера относятся:

- короткое замыкание;
- искрение;
- перегрузка проводов;
- большое переходное сопротивление;
- статическое электричество.

Частой ЧС при использовании электрического оборудования является короткое замыкание. К причинам возникновения явления короткого замыкания может относиться следующее:

- старение изоляции;
- ошибки при проектировании;
- увлажнение изоляции.

К причинам неэлектрического характера могут относиться халатное обращение с огнем, таким как: оставление без контроля нагревательных устройств, а также курение.

Также, одной из опасностей является опасность пожара при перегрузках, вероятность возникновения которой появляется при чрезмерном нагревании отдельных элементов, которое может возникать в связи с ошибками, допущенными при проектировании в случае длительного прохождения тока, превышающего номинальное значение.

Помимо описанной выше опасности существует пожарная опасность переходных сопротивлений, то есть возможность воспламенения изоляции или других близлежащих горючих материалов от тепла, возникающего в месте аварийного сопротивления.

6.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Пожарная охрана объекта должна обеспечиваться противопожарной защитой и специальными системами по предотвращению пожара на данном объекте, а также организационно-техническими мероприятиями.

Безопасность должна обеспечиваться применением автоматических установок пожарной сигнализации, а также применением средств пожаротушения.

Мерами, принимаемыми в качестве противопожарной безопасности, являются:

- наличие огнетушителей и пожарной сигнализации;
- обеспечение путей эвакуации;
- обеспечение эффективного удаления дыма;
- соблюдение всех противопожарных требований к системам кондиционирования и отопления.

Осуществление вывода людей из зоны возникновения пожара обязано реализовываться по плану эвакуации, представляющую собой заранее разработанную схему, в которой указаны пути эвакуации и аварийные выходы, а также установлены правила поведения людей, порядок и алгоритм действий в условиях ЧС по п. 3.14 ГОСТ Р 12.2.143-2002 [30].

Согласно Правилам пожарной безопасности, в Российской Федерации ППБ 01-2003 (п. 16) в зданиях и сооружениях (кроме жилых домов) при одновременном нахождении на этаже более 10 человек должны быть разработаны и находиться на видных местах схемы (планы) эвакуации людей в случае возникновения пожар.

Помещения необходимо оборудовать пожарными извещателями, в качестве которых используют дымовые фотоэлектрические извещатели типа ИДФ-1 или ДИП-1, позволяющими оповещать дежурный персонал о пожаре.

Для тушения пожаров на участке производства следует применять углекислоты огнетушители типа ОУ-5 и ОУ-10, а также порошковые

огнетушители типа ОП-10, обладающие функцией тушения электроустановок, высокой скоростью тушения и эффективностью борьбы с огнем.

Вывод по разделу

Таким образом, в настоящем разделе были рассмотрены не только правовые нормы трудового законодательства, но и его особенности применительно к условиям проекта.

Произведен анализ основных вредных и опасных факторов, возникающих в ходе исследований в лаборатории, при разработке и эксплуатации проекта, а также осуществлено описание мероприятий по снижению уровня воздействия данных факторов.

Помимо прочего, рассмотрен характер воздействия предлагаемого решения на окружающую среду. Осуществлен анализ возможных ЧС, которые могут возникнуть при реализации или эксплуатации разработанного человеко-машинного интерфейса на базе одноплатного микрокомпьютера Raspberry Pi. Также были разработаны основные меры по диагностике и предотвращению возможных ЧС.

При внедрении предлагаемого решения человеко-машинного интерфейса на базе одноплатного микроЭВМ Raspberry Pi 3 на производстве, могут применяться требования и мероприятия, рассмотренные в рамках данного раздела, а также, на производстве может быть задействован разработанный порядок действий при чрезвычайных ситуациях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы был разработан опытный образец человеко-машинного интерфейса, позволяющего оператору АСУ осуществлять контроль и управление технологическим процессом с сенсорной панели. В разработанном опытном образце реализован базовый функционал, который осуществляет прием и передачу информации с ПЛК при помощи протокола ModbusTCP.

В ходе работы был осуществлен сравнительный анализ присутствующих на рынке аппаратных платформ, подходящих для прототипирования разработанного устройства. По результатам данного анализа по стоимости, мощности и производительности, а также возможности перепрограммирования платформы под собственные нужды была выбрана - Raspberry Pi 3.

Также было разработано программное обеспечение на основе библиотеки EasyModbusTCP .Net с использованием языка C#, а ключевым набором правил интерфейса логического уровня, который определяет обмен информацией и данными между устройствами является протокол ModbusTCP.

В ходе выполнения данной работы были получены опыт работы с языком программирования C# и открытым коммуникационным протоколом Modbus на операционных системах Debian и Windows. Был изучен стандарт используемого протокола, а также повышен уровень английского языка в ходе изучения зарубежной литературы по данной тематике.

CONCLUSION

As a result of the work, a prototype of man-machine interface was developed, allowing the control system operator to monitor and control the technological process from the touch panel. In the developed prototype the basic functionality which carries out reception and information transfer from the PLC by means of ModbusTCP protocol is realized.

In the course of work the comparative analysis of the hardware platforms present in the market, suitable for prototyping of the developed device has been carried out. According to the results of this analysis on cost, power and performance, as well as the possibility of reprogramming the platform for their own needs was chosen - Raspberry Pi 3.

Also the software on the basis of EasyModbusTCP .Net library was developed using C# language, and the key set of rules of interface of logic level which defines information and data exchange between devices is ModbusTCP protocol.

During performance of the given work experience of work with programming language C# and open communication protocol Modbus on operating systems Debian and Windows has been received. The standard of the used protocol has been studied, and also English level has been raised during studying of the foreign literature on the given subjects.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Панель оператора как средство создания высокоэффективного HMI [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.controlengrussia.com/apparatnye-sredstva/otobrazhenie-informatsii/panel-operatora/>, свободный (дата обращения: 10.02.2020).
2. Simatic HMI [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://en-res.ru/wp-content/uploads/2012/12/simatic_hmi_panels_2012_r.pdf, свободный (дата обращения: 10.02.2020).
3. Человеко-машинный интерфейс [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Человеко-машинный_интерфейс, свободный (дата обращения: 12.03.2020).
4. Проектирование человеко-машинного интерфейса [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.4stud.info/user-interfaces/ui-design-intro.html>, свободный (дата обращения: 14.03.2020).
5. Modbus [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Modbus>, свободный (дата обращения: 1.04.2020).
6. Протоколы и сети Modbus и Modbus TCP [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.cta.ru/cms/f/435973.pdf>, свободный (дата обращения: 10.04.2020).
7. Modbus / Jesse Russell, Ronald Cohn; Bookvika publishing, 2013. – 108 с.
8. EasyModbusTCP [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://easymodbustcp.net/en/>, свободный (дата обращения: 10.04.2020).
9. Net Modbus Client - Methods [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://easymodbustcp.net/en/modbusclient-methods>, свободный (дата обращения: 10.04.2020).
10. Raspberry Pi [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi, свободный (дата обращения: 10.04.2020).

11. Raspberry Pi: настройка и управление [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://radioprogram.ru/post/110>, свободный (дата обращения: 12.04.2020).
12. 7inch HDMI LCD [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.waveshare.com/wiki/7inch_HDMI_LCD, свободный (дата обращения: 12.04.2020).
13. C-Sharp [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/C_Sharp, свободный (дата обращения: 13.04.2020).
14. O 2N [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.2n.cz/ru_RU/o-2n, свободный (дата обращения: 14.04.2020).
15. КБ «Агава». О компании [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.kb-agava.ru/about_kb-agava, свободный (дата обращения: 15.04.2020).
16. Абрамов С. Б. Организация производственной деятельности: учебное пособие. – Нижний Новгород, 2009. – 95 с.
17. Производственный календарь на 2020 год. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.garant.ru/calendar/buhpravo/>, свободный (дата обращения: 15.04.2020).
18. Борисова Л. М., Дукарт С. А. Экономика предприятия: учебное пособие. Томский Политехнический Университет. – Томск: Издательство ТПУ, 2011.
19. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ
20. ГОСТ 12.2.032-78 ССБЕ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
21. ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования к безопасности к рабочим местам.
22. СанПин 2.2.2/2.4.1340-0.3 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинами и организации работы.
23. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

24. СанПин 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

25. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Допустимые уровни шумов.

26. СНиП 23-05.95. Естественное и искусственное освещение.

27. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.

28. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

29. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление.

ГОСТ Р 12.2.143-2002 ССБТ. Системы фотолюминесцентные эвакуационные. Элементы систем. Классификация. Общие технические требования. Методы контроля.